

**STUDIEN ZUR BEDARFSDECKENDEN VERSORGUNG
VON FORELLEN (SALMO GAIRDNERI RICHARDSON) MIT
DEN ESSENTIELLEN AMINOSÄUREN LEUCIN UND
ISOLEUCIN, VALIN, HISTIDIN SOWIE
PHENYLALANIN UND TYROSIN**

STEFAN ZIMMER

Aus dem Institut für Physiologie, Physiologische Chemie
und Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Angefertigt unter der Leitung von Prof. Dr. J. Gropp

**STUDIEN ZUR BEDARFSDECKENDEN VERSORGUNG VON FORELLEN (SALMO
GAIRDNERI RICHARDSON) MIT DEN ESSENTIELLEN AMINOSÄUREN
LEUCIN UND ISOLEUCIN, VALIN, HISTIDIN SOWIE
PHENYLALANIN UND TYROSIN**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
STEFAN ZIMMER
aus
Schiffweiler
München 1988

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: _____ Prof. Dr. M. Rüsse

Referent: _____ Prof. Dr. J. Gropp

Korreferent: _____ Prof. Dr. Dr.habil. R. Hoffmann

Tag der Promotion: _____ 29. Juli 1988

1	1. EINLEITUNG	1
2	2. LITERATUR	2
2.1	2.1.1 Hauptanliegen der Arbeit zur Darstellung wichtiger theoretischer Grundlagen	2
2.2	2.2.1 Bedeutung der experimentellen Untersuchung	2
2.3	2.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung	2
3	3. THEORETISCHER HINTERGRUND	3
3.1	3.1.1 Meinen Eltern und meiner lieben Frau	3
3.1.1	3.1.1.1 Einleitung	3
3.1.2	3.1.1.2 Theorie der Arbeit	3
3.1.3	3.1.1.3 Methode	3
3.1.4	3.1.1.4 Ergebnisse	3
3.1.5	3.1.1.5 Zusammenfassung	3
3.1.6	3.1.1.6 Literaturverzeichnis	3
3.1.7	3.1.1.7 Zusammenfassung	3
3.1.8	3.1.1.8 Zusammenfassung	3
3.1.9	3.1.1.9 Zusammenfassung	3
3.1.10	3.1.1.10 Zusammenfassung	3
3.1.11	3.1.1.11 Zusammenfassung	3
3.1.12	3.1.1.12 Zusammenfassung	3
3.1.13	3.1.1.13 Zusammenfassung	3
3.1.14	3.1.1.14 Zusammenfassung	3
3.1.15	3.1.1.15 Zusammenfassung	3
3.1.16	3.1.1.16 Zusammenfassung	3
3.1.17	3.1.1.17 Zusammenfassung	3
3.1.18	3.1.1.18 Zusammenfassung	3
3.1.19	3.1.1.19 Zusammenfassung	3
3.1.20	3.1.1.20 Zusammenfassung	3
3.1.21	3.1.1.21 Zusammenfassung	3
3.1.22	3.1.1.22 Zusammenfassung	3
3.1.23	3.1.1.23 Zusammenfassung	3
3.1.24	3.1.1.24 Zusammenfassung	3
3.1.25	3.1.1.25 Zusammenfassung	3
3.1.26	3.1.1.26 Zusammenfassung	3
3.1.27	3.1.1.27 Zusammenfassung	3
3.1.28	3.1.1.28 Zusammenfassung	3
3.1.29	3.1.1.29 Zusammenfassung	3
3.1.30	3.1.1.30 Zusammenfassung	3
3.1.31	3.1.1.31 Zusammenfassung	3
3.1.32	3.1.1.32 Zusammenfassung	3
3.1.33	3.1.1.33 Zusammenfassung	3
3.1.34	3.1.1.34 Zusammenfassung	3
3.1.35	3.1.1.35 Zusammenfassung	3
3.1.36	3.1.1.36 Zusammenfassung	3
3.1.37	3.1.1.37 Zusammenfassung	3
3.1.38	3.1.1.38 Zusammenfassung	3
3.1.39	3.1.1.39 Zusammenfassung	3
3.1.40	3.1.1.40 Zusammenfassung	3
3.1.41	3.1.1.41 Zusammenfassung	3
3.1.42	3.1.1.42 Zusammenfassung	3
3.1.43	3.1.1.43 Zusammenfassung	3
3.1.44	3.1.1.44 Zusammenfassung	3
3.1.45	3.1.1.45 Zusammenfassung	3
3.1.46	3.1.1.46 Zusammenfassung	3
3.1.47	3.1.1.47 Zusammenfassung	3
3.1.48	3.1.1.48 Zusammenfassung	3
3.1.49	3.1.1.49 Zusammenfassung	3
3.1.50	3.1.1.50 Zusammenfassung	3
3.1.51	3.1.1.51 Zusammenfassung	3
3.1.52	3.1.1.52 Zusammenfassung	3
3.1.53	3.1.1.53 Zusammenfassung	3
3.1.54	3.1.1.54 Zusammenfassung	3
3.1.55	3.1.1.55 Zusammenfassung	3
3.1.56	3.1.1.56 Zusammenfassung	3
3.1.57	3.1.1.57 Zusammenfassung	3
3.1.58	3.1.1.58 Zusammenfassung	3
3.1.59	3.1.1.59 Zusammenfassung	3
3.1.60	3.1.1.60 Zusammenfassung	3
3.1.61	3.1.1.61 Zusammenfassung	3
3.1.62	3.1.1.62 Zusammenfassung	3
3.1.63	3.1.1.63 Zusammenfassung	3
3.1.64	3.1.1.64 Zusammenfassung	3
3.1.65	3.1.1.65 Zusammenfassung	3
3.1.66	3.1.1.66 Zusammenfassung	3
3.1.67	3.1.1.67 Zusammenfassung	3
3.1.68	3.1.1.68 Zusammenfassung	3
3.1.69	3.1.1.69 Zusammenfassung	3
3.1.70	3.1.1.70 Zusammenfassung	3
3.1.71	3.1.1.71 Zusammenfassung	3
3.1.72	3.1.1.72 Zusammenfassung	3
3.1.73	3.1.1.73 Zusammenfassung	3
3.1.74	3.1.1.74 Zusammenfassung	3
3.1.75	3.1.1.75 Zusammenfassung	3
3.1.76	3.1.1.76 Zusammenfassung	3
3.1.77	3.1.1.77 Zusammenfassung	3
3.1.78	3.1.1.78 Zusammenfassung	3
3.1.79	3.1.1.79 Zusammenfassung	3
3.1.80	3.1.1.80 Zusammenfassung	3
3.1.81	3.1.1.81 Zusammenfassung	3
3.1.82	3.1.1.82 Zusammenfassung	3
3.1.83	3.1.1.83 Zusammenfassung	3
3.1.84	3.1.1.84 Zusammenfassung	3
3.1.85	3.1.1.85 Zusammenfassung	3
3.1.86	3.1.1.86 Zusammenfassung	3
3.1.87	3.1.1.87 Zusammenfassung	3
3.1.88	3.1.1.88 Zusammenfassung	3
3.1.89	3.1.1.89 Zusammenfassung	3
3.1.90	3.1.1.90 Zusammenfassung	3
3.1.91	3.1.1.91 Zusammenfassung	3
3.1.92	3.1.1.92 Zusammenfassung	3
3.1.93	3.1.1.93 Zusammenfassung	3
3.1.94	3.1.1.94 Zusammenfassung	3
3.1.95	3.1.1.95 Zusammenfassung	3
3.1.96	3.1.1.96 Zusammenfassung	3
3.1.97	3.1.1.97 Zusammenfassung	3
3.1.98	3.1.1.98 Zusammenfassung	3
3.1.99	3.1.1.99 Zusammenfassung	3
3.1.100	3.1.1.100 Zusammenfassung	3

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATUR	2
2.1 Historischer Abriß zur Entwicklung vollsyn- thetischer Rationen	2
2.2 Bedarf an essentiellen Aminosäuren	3
2.2.1 Aminosäuren-Bedarf bei Regenbogenforellen	3
3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN	6
3.1 Material und Methoden	6
3.1.1 Versuchsplan	6
3.1.2 Tiermaterial	7
3.1.3 Haltung	8
3.1.3.1 Versuche I und II	8
3.1.3.2 Versuch III	9
3.1.4 Futter und Fütterung	10
3.1.4.1 Futterzusammensetzung	10
3.1.4.2 Futterzuteilung	12
3.1.5 Versuchsdurchführung	13
3.1.5.1 Versuche I und II	13
3.1.5.2 Versuch III (a und b)	14
3.1.6 Versuchsverlauf	15
3.1.6.1 Versuche Ia und IIa	15
3.1.6.2 Versuche Ib und IIb	15
3.1.6.3 Versuch III	16

	Seite
3.2 Versuchsauswertung	17
3.3 Ergebnisse	18
3.3.1 Versuch Ia	18
3.3.2 Versuch Ib	22
3.3.3 Versuch IIa	22
3.3.4 Versuch IIb	26
3.3.5 Versuch III	28
4 DISKUSSION	30
4.1 Zur Schätzung des Aminosäurebedarfs	31
4.1.1 Leucin - Isoleucin	32
4.1.2 Valin	34
4.1.3 Histidin	35
4.1.4 Phenylalanin - Tyrosin	36
4.2 Validität der Ergebnisse und Schlußfolgerung	38
5 ZUSAMMENFASSUNG	39
5.1 Summary	40
6 LITERATURVERZEICHNIS	41
7 TABELLARISCHER ANHANG	45
Lebenslauf	
Danksagung	

1 EINLEITUNG

Die Erzeugung von Fischeiweiß als Nahrungsquelle gewinnt immer größere Bedeutung. Speziell der Regenbogenforelle gebührt hier vordringliche Beachtung. Um aber gezielt größere Mengen von Forellen sinnvoll erzeugen zu können, sollten genauere Kenntnisse über die bedarfsdeckende Versorgung mit essentiellen Aminosäuren vorliegen.

Seit 1981 werden am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in verschiedenen Versuchsreihen Aminosäurebedarfswerte für Regenbogenforellen erarbeitet. Nach STRAUSS (Lysin), FRANK (Arginin und Tryptophan), LANGBEIN (Tryptophan, Methionin und Cystein) und STIEGLMAIER (Phenylalanin, Tyrosin und Threonin) sollten nun Anhaltspunkte für Bedarfswerte an Leucin, Isoleucin, Histidin und Valin sowie Hinweise für ein optimales Phenylalanin : Tyrosin-Verhältnis erarbeitet werden.

2 LITERATUR

2.1 Historischer Abriß zur Entwicklung vollsynthetischer Rationen

Nach heutiger Definition enthalten vollsynthetische Rationen anstelle der komplexen Nährstoffe (z.B. Protein) deren monomere Bausteine (hier Aminosäuren).

1912 machte ABDERHALDEN in Halle als erster Fütterungsexperimente mit Aminosäuren-Diäten an Hunden. 1916 fütterte HOPKINS Ratten mit einer Diät aus einigen Aminosäuren. Im gleichen Jahr führten OSBORNE und MENDEL ähnliche Versuche durch.

1922 gab ABDERHALDEN Mäusen und Ratten eine Diät aus 20 synthetisch hergestellten Aminosäuren. 1931 arbeitete ROSE mit Aminosäuren-Diäten, die er am Aminosäuren-Muster von Casein orientiert hatte.

1946/47 bewiesen BORMAN und Mitarbeiter, daß Arginin zu den essentiellen Aminosäuren gehört. ROSE und Mitarbeiter klassifizierten die Aminosäuren in essentielle und nicht essentielle, manifestierten die Bedeutung der L-Form der essentiellen Aminosäuren für die Ernährung und begannen mit Versuchen über den quantitativen Aminosäurenbedarf bei Ratten.

1957 waren es HALVER und Mitarbeiter, die erstmals Aminosäuren-Diäten zur Bedarfsermittlung bei Fisch (Lachsfingerlingen) einsetzten. Sie etablierten die Essentialität von:

Arginin, Histidin, Leucin, Isoleucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin für Salmoniden.

Seither gelten Alanin, Hydroxyprolin, Prolin, Serin, Tyrosin, Asparaginsäure, Cystin, Glycin und Glutaminsäure als nicht notwendig für das Wachstum von Forellen.

1969 konstatierte MERTZ (nach MERTZ, 1972) einen 4- bis 6-fachen Argininbedarf bei Fischen und Vögeln im Vergleich zum Säugetier (6 % v. RP : 1 - 1,5 % v. RP). Gleichzeitig setzte er den Tryptophanbedarf der Fische mit 0,5 % vom RP relativ niedrig an im Vergleich zu Werten von homöothermen Nutz- und Haustieren.

1970 versuchten AOE et al., die bisherigen Ergebnisse auf den Karpfen zu übertragen, was aber nicht zu den erhofften Erfolgen führte.

1972 ermittelten ARAI et al. den Aminosäurenbedarf des Aales mit Hilfe einer vollsynthetischen Diät und fanden heraus, daß für den Aal die gleichen Aminosäuren essentiell sind wie für die Forelle und den Wels.

2.2 Bedarf an essentiellen Aminosäuren

2.2.1 Aminosäurenbedarf bei Regenbogenforellen

Die ersten Aminosäuren-Bedarfszahlen für Forellen orientierten sich an Untersuchungen, die HALVER et al. (1957) an Setzlingen des pazifischen Lachses (*Oncorhynchus tsawytscha*) ermittelt hatten. Die Aminosäurezusammensetzung der synthetischen Versuchsdiäten war Forellenlaich und Lachsdottersack angeglichen. Die Versuchsfische zeigten relativ gutes Wachstum.

Vergleiche der Untersuchungen von ALBRECHT und WÖNSCHE (1972) über den Aminosäuregehalt im Nahrungsangebot eines Forellenbaches und von TIEWS et al. (1973) über den Aminosäuregehalt der Gesamtforelle zeigen, daß hier ganz ähnliche Zusammensetzungen anzutreffen sind (Tabelle 1).

MERTZ veröffentlichte 1972 Aminosäuren-Bedarfszahlen für Forellen (Tabelle 2). Er leitete aus Bedarfszahlen des Königslachses die Werte für Forellen ab.



Tab. 1: Aminosäuregehalt im Nahrungsangebot eines Forellenbaches
(ALBRECHT und WONSCHKE 1972)
und Aminosäuregehalt im Gesamtforellenkörper
(TIEWS et al. 1973)

Aminosäure	Nahrungsangebot Forellenbach g/16 gN	Gesamtforelle g/16 gN
Histidin	2,3	3,2
Arginin	5,8	6,2
Lysin	5,7	7,9
Tyrosin	3,8	3,1
Phenylalanin	4,4	4,3
Methionin	1,9	3,1
Cystin	1,4	n.b.
Tryptophan	1,1	n.b.
Threonin	4,6	4,2
Leucin	6,9	7,0
Isoleucin	4,6	4,2
Valin	5,3	5,2
Glycin	n.b.	7,0
Prolin	n.b.	4,7

n.b. = nicht bestimmt

Tab. 2: Aminosäurenbedarf der Forelle (MERTZ, 1972)

Aminosäure	% v. RP	Aminosäure	% v. RP
Histidin	1,7	Methionin ^{**}	1,5
Arginin	6,0	Threonin	2,25
Lysin	5,0	Leucin	3,9
Tryptophan	0,5	Isoleucin	2,5
Phenylalanin [*]	5,1	Valin	3,2

^{*} Phenylalanin und Tyrosin 6 - 7 %
^{**} bei 1,8 % Cystein

Größere Unterschiede zu der Aminosäurenkonzentration in der Nahrung eines Forellenbaches (ALBRECHT und WÖNSCHE, 1972) und zur Gesamtkörperkonzentration (TIEWS et al. 1973) zeigen Isoleucin, Leucin, Phenylalanin, Tyrosin, Threonin und Valin.

Weitere vollständige Angaben über Bedarfszahlen bei Regenbogenforellen (Tabelle 3) finden sich bei OGINO (1980). Der Autor bestimmte tägliche Veränderungen im Gehalt des Fischkörpers an essentiellen Aminosäuren und berechnete den Bedarf an diesen Aminosäuren pro 100 g Körpergewicht entsprechend der täglich gemessenen Zunahme des essentiellen Aminosäuregehalts pro 100 g Körpergewicht.

OGINO stellt in seiner Arbeit die Ähnlichkeit der so ermittelten Bedarfswerte mit denen des Karpfens heraus (s. auch Tabelle 3).

Tab. 3: Aminosäurebedarf in % v. RP (OGINO, 1980) bei Karpfen und Regenbogenforelle

Aminosäure	Karpfen	Forelle
Histidin	1,4	1,6
Arginin	3,8	3,5
Lysin	5,3	5,3
Tyrosin	2,0	2,1
Phenylalanin	2,9	3,1
Methionin	1,6	1,8
Cystin	0,8	0,9
Tryptophan	0,6	0,5
Threonin	3,3	3,4
Leucin	4,1	4,4
Isoleucin	2,3	2,4
Valin	2,9	3,1

Neuere Untersuchungen (GROPP, 1985) zeigen etwas abweichende Werte. So werden als ausreichend empfohlen Lysin mit 4,3 % v. RP und Arginin mit 3 - 4 % v. RP, Tryptophan 0,5 - 0,75 % v. RP, Threonin mit weniger als 3,2 % v. RP und ca. 3 % Schwefelamino-säuren (Cystein und Methionin).

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Es sollte herausgefunden werden, inwieweit die bis heute vorliegenden, teils als Nährungswerte geltenden Bedarfszahlen für Histidin, Valin, Leucin und Isoleucin bestätigt werden können bzw. welche Abweichungen bei diesen Aminosäuren auftreten. Zugleich sollte das optimale Phenylalanin : Tyrosin-Verhältnis ermittelt werden.

Dazu wurde der Rohproteinanteil der Futtermischung aus synthetisch hergestellten L-Aminosäuren (Ausnahme DL-Methionin) zusammengesetzt. Die Parameter Wachstum, Zunahme und Futterverwertung sowie Stickstoff- und Energie-Bilanz wurden für die Bewertung der Ergebnisse herangezogen.

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Versuchsplan

In jeweils 10 Rationen sollten die Bedarfswerte an Leucin-Isoleucin (Versuch I), Histidin-Valin (Versuch II) und an Phenylalanin-Tyrosin (Versuch III) bei einem RP-Gehalt ($N \times 6,25$) von 26 % eingegrenzt werden. Über die Versuchsanlage der einzelnen Versuche informieren die Tabellen 4 (Versuch I), 5 (Versuch II) und 6 (Versuch III).

Tab. 4: Versuch I: Konzentrationen von Leucin und Isoleucin in den einzelnen Rationen (% v. RP)

Ia	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu	9,40	--	3,13	4,54	6,25	9,40	9,40	9,40	9,40	6,80
Ile	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	--	2,27	3,40	3,97	3,40
Ib	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu	2,00	4,00	6,00	8,00	3,00	6,00	9,00	12,00	5,00	7,00
Ile	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,80

Tab. 5: Versuch II: Konzentrationen von Histidin und Valin in den einzelnen Rationen (% v. RP)

IIa	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His	2,22	--	0,74	1,48	2,96	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Val	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	--	2,00	4,00	5,00	7,00

IIb	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His	--	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	2,00	2,00	2,00
Val	4,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00

Tab. 6: Versuch III: Konzentrationen von Phenylalanin und Tyrosin in den einzelnen Rationen (% v. RP)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Phe	6,07	10,29	8,13	3,79	1,63	--	6,09	2,03	8,53	2,84
Tyr	4,23	--	2,17	6,50	8,67	10,29	2,03	6,09	2,84	8,53

Die Versuche I und II wurden mit veränderten Leucin-Isoleucin bzw. Histidin-Valin Gehalten in den Rationen wiederholt.

Pro Versuchsgruppe wurden 2 Wiederholungen eingerichtet, Versuch III hatte 4 Wiederholungen/Gruppe.

3.1.2 Tiermaterial

Für die Versuche Ia und IIa wurden Forellenfingerlinge mit einem Durchschnittsgewicht von 33 g bzw. von 30 g für Versuch IIIa verwendet. Die Fische stammten aus institutseigener Aufzucht.

Für die Versuche Ib, IIb und IIIb wurden Tiere aus der Fischzucht Thalhammermühle in Amerang bei Mühldorf/Inn bezogen. Die Durchschnittsgewichte lagen hier bei 38 g (Ib), 37 g (IIb) bzw. 20 g (IIIb).

Insgesamt wurden eingesetzt:

Versuch Ia:	360 Tiere = 18/Becken
Versuch IIa:	360 Tiere = 18/Becken
Versuch IIIa:	480 Tiere = 12/Becken
Versuch Ib:	300 Tiere = 15/Becken
Versuch IIb:	300 Tiere = 15/Becken
Versuch IIIb:	480 Tiere = 12/Becken

3.1.3 Haltung

Zur Durchführung der Versuche wurden zwei ähnliche Fischhaltungsanlagen benutzt.

3.1.3.1 Versuche I und II

Die Versuche I und II wurden in 40 Glasaquarien mit einem Fassungsvermögen von ca. 40 l durchgeführt. Die Aquarien standen in 4 Reihen zu je 10 Stück.

Die Aquarien wurden alle mit Frischwasser versorgt. Die Belüftung erfolgte über einen Kompressor mit je einem Sprudelsteinchen pro Becken. Dies sollte die Sauerstoffversorgung sicherstellen, falls die Frischwasserzufuhr ausfallen sollte. Der Wasserzufluß war mit Schlauchklemmen zu regulieren, der Wasserabfluß erfolgte über einen Mönch, der große Teile der am Boden liegenden Schmutzpartikel durch seine Saugwirkung entfernte.

Als Zufluß wurde Münchner Leitungswasser direkt in die Aquarien geleitet, das im Falle eines Chlorzusatzes durch die Wasserwerke, über Aktivkohlefilter entchlort wurde.

Die Reinigung fand jeden Tag etwa um die gleiche Zeit (13.15 - 13.30) ca. 1/4 h nach der dritten Fütterung statt.

Alle 14 Tage, verbunden mit der Wiegung der Fische, wurden die Aquarien ganz entleert und vollständig gereinigt.

Tab. 7: Durchschnittliche Analysendaten Münchner Leitungswasser (Wasserwerk München)

	$\bar{x}$	$x_{\min}$	$x_{\max}$
ph	7,44	7,25	7,60
Ca (Mg/l)	79,4		
Mg (Mg/l)	22,2		
Gesamthärte	16,2 ⁰ d		20,0 ⁰ d
Karbonathärte	15,0 ⁰ d		15,8 ⁰ d

3.1.3.2 Versuch III

Versuch III wurde in einer offenen Kreislaufanlage durchgeführt. Sie gliedert sich in einen Produktionsteil und in einen Funktionsteil.

Den Produktionsteil bilden PVC-Aquarien (44 x 34 x 12 cm). Durch Verstellen des Abflußrohres läßt sich ihr Inhalt stufenlos von 20 l bis 63 l variieren.

Die Becken stehen in 6 Stellagen mit je 2 Etagen. 10 Becken mit einem Volumen von ca. 40 l wurden für Versuch III benötigt. Der funktionelle Teil besteht aus einem Wasserverteilungs- und einem Wassersammlungssystem sowie einem unterteilten Becken zur mechanischen Reinigung des Wassers mit der Möglichkeit einer mengenmäßig zu regulierenden Frischwasserzufuhr (nähere Details s. STRAUSS, 1982).

Die Reinigung der Becken erfolgte analog zu den Glasaquarien (Versuche I und II).

3.1.4 Futter und Fütterung

3.1.4.1 Futterzusammensetzung

Den Rationen lagen basale Aminosäuren-Vormischungen zugrunde, denen jeweils die zu untersuchenden Aminosäuren Leucin und Isoleucin in Versuch I, Valin und Histidin in Versuch II und Phenylalanin und Tyrosin in Versuch III fehlten. Den einzelnen Rationen wurden die ausgesparten Aminosäuren in unterschiedlichen Konzentrationen zugemischt, wobei geringere Aminosäuren-Zugaben gegenüber höheren N-äquivalent durch Glutaminsäure ausgeglichen wurden. Alle Rationen waren auf 26 % "Rohprotein" (N x 6,25) eingestellt.

Als Fettquelle enthielten alle Diäten 15 % Rotbarschöl. Dazu kamen 2 % Zellulose, 5,15 % Mineralstoffe und Spurenelemente sowie 0,6 % Vitaminvormischung. Um einem Befall des Futters mit Schimmelpilzen vorzubeugen, wurden 0,3 % Luprosil (Ca-Propionat, BASF, Ludwigshafen) zugemischt. Die Rationen wurden mit aufgeschlossener Maisquellstärke (Flocculante, Maizena, Hamburg) auf 100 % aufgefüllt.

Über die Zusammensetzung der Spurenelement- bzw. Vitaminvormischung informieren Tabelle 8 bzw. Tabelle 9, über die Aminosäurenbasalmischung Tabelle 10 und über die unterschiedlichen Aminosäurezulagen Tabellen 4 - 6 (Versuchsplän).

Tab. 8: Zusammensetzung Spurenelementvormischung

In 1,5 g (= pro kg Futter) sind enthalten

Fe (aus Eisenfumarat)	150	mg
Zn (aus Zinkacetat)	120	mg
Mn (aus Mangansulfat x H ₂ O)	120	mg
Cu (aus Kupferacetat x H ₂ O)	18	mg
J (aus Kaliumjodid)	3,75	mg
Co (aus Cobaltsulfat x 7H ₂ O)	1,5	mg
Se (aus Natriumselenit x 5H ₂ O)	0,75	mg
F (aus Natriumfluorid)	7,5	mg
Mg (aus Magnesiumoxid)	105	mg

Tab. 9: Zusammensetzung Vitaminvormischung

In 6 g (= pro kg Futter) sind enthalten

Retinol	9,0	mg
Cholecalciferol	66	µg
α-DL-Tocopherolacetat	72	mg
Menadion	2,4	mg
Thiamin	10,8	mg
Riboflavin	14,4	mg
Pyridoxin	6,0	mg
Cobalamin	60	µg
Biotin	180	µg
Folsäure	360	µg
Ca-Pantothenat	36	mg
Nicotinsäure	108	mg
Cholin	900	mg
Ascorbinsäure	180	mg

Tab. 10: Aminosäurenmischung

Aminosäure	g	% v. RP
L-Histidin HCl H ₂ O	0,713	2,22
L-Arginin HCl	1,886	6,00
L-Lysin HCl	1,363	4,20
L-Tyrosin	1,100	4,23
L-Phenylalanin	1,580	6,08
DL-Methionin	0,755	2,90
L-Cystein HCl H ₂ O*	0,415	1,10
L-Cystein**	0,290	1,12
L-Tryptophan	0,211	0,81
L-Threonin	0,560	2,15
L-Leucin	2,441	9,41
L-Isoleucin	1,181	4,54
L-Valin	1,560	6,00
Glycin	2,250	8,65
L-Glutaminsäure	***	***
L-Prolin	1,441	5,54
NaHCO ₃	1,000	-

* in den Versuchen I und II

** im Versuch III

*** Glu mehr/weniger (N-Äquivalenz) bei niedrigen/höheren Gehalten anderer Aminosäuren

3.1.4.2 Futterzuteilung

Die Futtermenge wurde in der Vorperiode bei allen Versuchen mit 2 %, in der Hauptperiode der Versuche Ia, IIa und IIIa mit 2 %, während der Versuche Ib, IIb und IIIb mit 1,8 % des Körpergewichtes der Fische angeboten. Die einzuwiegende Futtermenge orientierte sich an der jeweils letzten Wiegung des jeweiligen Fischbeckens.

Für jedes Becken wurde im voraus die Tagesration eingewogen. Die Tiere wurden viermal täglich gefüttert, um 9.00, 11.00, 13.00 und 15.00 Uhr.

Es wurden immer nur geringe Futtermengen verabreicht, bis eine Sättigung der Tiere zu ersehen war.

Übriggebliebene Futtermittel wurden gesammelt und pro Becken wöchentlich rückgewogen, um den Futterverzehr errechnen zu können. Ausgewertet wurden allerdings nur 14-Tages-Abschnitte.

3.1.5 Versuchsdurchführung

3.1.5.1 Versuche I und II

Die Versuche I (a und b) und II (a und b) wurden in Glasaquarien durchgeführt. Den Versuchen ging eine 14-tägige Vorperiode zur Eingewöhnung der Fische voraus.

Einen Tag vor Beginn der Vorperiode wurden 18 Fische (Ia und IIa) bzw. 15 Fische (Ib und IIb) pro Becken eingesetzt, nachdem die Tiere zuvor mittels einer Sortiermaschine in vier Größen vorsortiert worden waren. Es wurde Gewichtsgleichheit der Beckengesamtwichte angestrebt, indem kleinere Fische gegen größere oder umgekehrt ausgetauscht wurden, bei gleicher Anzahl Fische pro Becken. Die Durchschnittsgewichte der Tiere lagen zu Beginn der Vorperiode bei 31,1 g (Ia); 31,4 g (IIa); 32,2 g (Ib) bzw. 31,0 g (IIb).

Während der Vorperiode wurde mit Forellenaufzuchtfutter, das im Institut hergestellt wurde, gefüttert. Die tägliche Futtermenge betrug 2 % des Körpergewichtes. Am Wiegetag wurde nicht gefüttert. Zu Versuchsbeginn ergaben sich Durchschnittsgewichte von 32,9 g (Ia), 38,2 g (Ib), 32,9 g (IIa) bzw. 37,0 g (IIb).

Für die Hauptperiode wurde die Anzahl der Setzlinge auf 15 (Ia und IIa) bzw. auf 12 (Ib und IIb) pro Becken reduziert. Wiederum wurde Gewichtsgleichheit der Becken, zumindest der Wiederholungen einer Versuchsgruppe, die zuvor durch das Zufallprinzip ermittelt worden waren, durch Austauschen der Fische angestrebt.

Während der Hauptperiode wurden die Fische jeweils für 13 Tage gefüttert. An Wiegetagen erfolgte keine Futterzuteilung. Die Fische wurden vor der Wiegung mit MS 222 (Tricain, Sandoz, Nürnberg) betäubt.

An dem auf das Versuchsende (8 Wochen) folgenden Tag erhielten die Fische Futter ad libitum, am darauffolgenden Tag wurden sie getötet. Ausgewählte Fische (in mittlerer Lebendmasse des Gruppenmittelwertes) wurden zum Zwecke der Ganzkörperanalyse tiefgefroren gelagert.

3.1.5.2 Versuche III (a und b)

In beiden Versuchen III (a und b) wurden zur Vorperiode 12 Fische pro Becken eingesetzt, die zu Beginn der Hauptperiode auf 10 reduziert wurden.

Die Durchschnittsgewichte lagen bei 24,9 g (IIIa) bzw. 16,5 g (IIIb) zu Beginn der Vorperiode und bei 30,5 g (IIIa) bzw. 19,1 g (IIIb) zu Beginn der Hauptperiode.

3.1.6 Versuchsverlauf

3.1.6.1 Versuche Ia und IIa

Die Tiere wurden am 1.8.85 eingesetzt, am 14.8. begann die Hauptperiode. Beide Versuche verliefen zunächst ohne Komplikationen. Nach ca. 4 Wochen war ein Befall der Versuchstiere mit Ichthyophthirius festzustellen, der eine Behandlung (Bad in NaCl-Lösung) notwendig machte. Am Tag nach dem Wiegetag (10.9.85) wurde in die Glasaquarien NaCl in gesättigter Lösung eingegeben. Die Konzentration in den Becken betrug dann 17 g/l H_2O . Die Fische wurden eine Stunde darin gehalten, dann wurde wieder Frischwasser zugeführt. Es fand keine Fütterung statt. Tags darauf wurde die Therapie wiederholt und nicht gefüttert. Erst am fünften Tag nach der Wiegung wurde wieder eine normale Futterzuteilung vorgenommen, ebenso am sechsten Tag. Vom siebenten bis zehnten Tag wurde wieder nicht gefüttert, am neunten Tag wurde die NaCl-Therapie wiederholt. Ab dem elften Tag (20.9.85) wurde wieder normal gefüttert.

Ausfälle an Versuchstieren aufgrund des Ichthyophthirius-Befalls traten nicht auf. Die Futteraufnahme der Tiere war während der Vorperiode gut. Das angebotene Futter wurde quantitativ aufgenommen. Zu Beginn der Hauptperiode war der Futterverzehr ebenfalls völlig ungestört. Ungefähr ab der Mitte der Hauptperiode setzte eine gewisse Futterverzehrdepression ein, vor allem in den Mangelgruppen. Diese Verzehrdepressionen (und Gewichtsabnahmen) wurden im weiteren Verlauf der Versuche immer gravierender.

3.1.6.2 Versuche Ib und IIb

Die Folgeversuche Ib und IIb wurden analog den Versuchen Ia und IIa durchgeführt. Zur Durchführung der Versuche Ib und IIb standen weniger Fische zur Verfügung als bei den vorausgegangenen Versuchen. Aus diesem Grund wurden die Glasaquarien zur Vorperiode

mit nur 15 Tieren besetzt, die analog den Versuchen Ia und IIa nach 2 Wochen zu Beginn der Hauptperiode auf 12 Fische reduziert wurden.

Alle 14 Tage fand eine Wiegung statt. An Wiegetagen wurde nicht gefüttert. Die Versuche Ib und IIB verliefen ohne Zwischenfälle.

3.1.6.3 Versuch III

Der ursprünglich geplante Versuch III konnte nicht wie vorgesehen durchgeführt werden.

In diesem Versuch manifestierte sich nach etwa vier Wochen Versuchsdauer, wie in den Versuchen Ia und IIa, ein Parasitenbefall mit Ichthyophthirius.

Da die PVC-Beckenanlage aber nicht wie die Glasaquarienanlage mit Frischwasser versorgt, sondern das abfließende Wasser nach Passieren der Kreislaufanlage mit Frischwasser vermischt und wieder in die Becken geleitet wurde, war der Infektionsdruck hier viel größer. Die Fische waren so stark befallen und dadurch bedingt die Ausfälle entsprechend hoch, daß dieser Versuch abgebrochen werden mußte. Auf Mitteilung der 4 Wochen-Ergebnisse von Versuch IIIa wird verzichtet.

Ein Wiederholungsversuch - parallel zu den Versuchen Ib und IIB (Beginn einen Tag später), in der Folge als Versuch III bezeichnet wurde mit relativ unausgeglichem Fischmaterial begonnen. Wegen eines Fehlers bei der Tiereinteilung lassen sich jedoch nur die Gruppen (1) - (4) und (6) vergleichen und auswerten. Versuch III verlief bis zum Ende störungsfrei.

3.2 Versuchsauswertung

Zur Beurteilung der Versuchsergebnisse wurden folgende Parameter herangezogen: Lebendmassezunahme (LMZ), spezifische Wachstumsrate (α), Futterverzehr (FVZ) und Futterverwertung (FVW); die N- und Energie-Bilanz sowie der produktive Proteinwert (PPW) und der Gesamtwirkungsgrad der Bruttoenergie (k_{tot})

α errechnet sich nach folgender Formel:

$$W_t = W_o (1 + \alpha / 100)^t$$

$$\alpha = \left(\sqrt[t]{\frac{W_t}{W_o}} - 1 \right) \times 100$$

W_t = Lebendmasse zum Zeitpunkt t

W_o = Lebendmasse zum Zeitpunkt der letzten Wiegung

t = Zeit in Tagen

α = Spezifische Wachstumsrate

Der Futterverzehr wird in g Futter pro Fisch für die jeweilige Zeiteinheit angegeben.

Die Futterverwertung ist definiert als g Zunahme an Körpergewicht pro kg aufgenommenes Futter

$$FVW = \frac{LMZ \text{ (g)}}{Futteraufnahme \text{ (kg)}}$$

Der produktive Proteinwert errechnet sich aus der prozentualen Beziehung zwischen dem angesetzten und aufgenommenen Stickstoff nach folgender Formel

$$PPW \text{ (\%)} = \frac{N\text{-Ansatz (g)}}{N\text{-Aufnahme (g)}} \times 100$$

Er ist ein Maß für die Umwandlung von Futterprotein in Körperprotein.

Der Wirkungsgrad der Bruttoenergie (k_{tot}) ist definiert als der prozentuale Energieansatz in Bezug auf die mit der Nahrung aufgenommene Energiemenge.

$$k_{\text{tot}} (\%) = \frac{\text{Energieansatz (kJ)}}{\text{Energieaufnahme (kJ)}}$$

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Versuch Ia

Die Versuchsendergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengefaßt. Zwischenergebnisse zur Wachstumsrate und zur Futterverwertung finden sich in Anhangstabelle I. Die Basisdaten zur Errechnung von PPW und k_{tot} (Tab. 11) sind in Anhangstabelle II wiedergegeben.

Die mittlere Lebendmasse bei Versuchsbeginn betrug $32,9 \pm 0,1$ g. Bei Versuchsende wurden - mit Ausnahme der Gruppen ohne Leucin- bzw. Isoleucin-Zusatz - $46,6 \pm 3,1$ g gemessen. Die durchschnittliche Lebendmasse der Gruppen ohne Leucin bzw. Isoleucin lag dagegen nur bei 34,3 bzw. 34,6.

Theoretisch hätte bei Fehlen einer essentiellen Aminosäure im Futter ein - auch noch so geringes - Wachstum nicht mehr erwartet werden dürfen. Aber bereits die Versuche von STRAUSS (1982), LANGBEIN (1987) und STIEGLMAIER (1987) hatten bei vergleichbarer Versuchsanordnung gezeigt, daß nach 8 Wochen Versuchsdauer nicht immer mit Gewichtsverlust zu rechnen ist, wenn eine essentielle Aminosäure im Futter fehlt. Dies ist in der Regel erst nach 12 Versuchswochen der Fall.

So wurde in der Leucin- bzw. Isoleucin-Mangelgruppe nach 4 Versuchswochen noch eine spezifische Wachstumsrate von 0,20 bzw. 0,49 beobachtet, in den daran anschließenden 4 Versuchswochen nur -0,06 bzw. -0,32 (Tab. I).

Wie aber aus den Werten der Anhangstabelle II zu ersehen ist, war die "Lebendmassezunahme" keineswegs mit einem entsprechenden N- bzw. Energie-Ansatz verbunden. In der Gruppe (2) ohne Leucin waren N- und Energie-Bilanz negativ, das Mehrgewicht ist offensichtlich Folge einer erhöhten Wassereinlagerung (76,9 % im Fischkörper gegenüber 75 % bei Versuchsbeginn). Ähnliche Verhältnisse finden sich in der Gruppe (6) ohne Isoleucin (Tab. II), ein rechnerischer N-Ansatz von 4 mg (in 8 Wochen) liegt innerhalb des methodischen Fehlerbereiches.

Auffallend in den beiden Mangelgruppen (2) und (6) ist ferner die Verzehrsdepression (19,5 bzw. 23,0 g Futter gegenüber $32,8 \pm 1,3$ g im Mittel der 8 anderen Versuchsgruppen): derartige Verzehrsdepressionen sind in der Regel typisch für einen Aminosäurenmangel (oder Aminosäuren-Imbalancen).

Die rechnerisch ausgewiesene Futtermittelverwertung (Tab. 11) ist für diese beiden Gruppen bedeutungslos, da kein echter Ansatz an Körperprotein oder Energie erfolgt war.

Die Aminosäuren-Konzentration im Futter der Gruppe (1) entspricht den Werten, wie sie für Leucin und Isoleucin in den vorangegangenen Untersuchungen von STRAUSS (1982), FRANK (1984), LANGBEIN (1987) und STIEGLMAIER (1987) verwendet worden waren. Gruppe (1) kann daher als eine Art Kontrollgruppe angesehen werden - dies gilt auch für die Versuche IIa und III.

Die Lebendmassezunahme der Kontrollgruppe betrug 11,7 g ($\alpha=0,55$). Dabei war die spezifische Wachstumsrate in der ersten Versuchshälfte ($\alpha=0,80$) deutlich höher als in der zweiten ($\alpha=0,26$, Tab. I). Diese Beobachtung gilt auch für alle anderen Gruppen. N-Ansatz (221 mg) und Energieansatz (88 kJ) sowie die Futterverwertung (362 g LMZ/kg Futterverzehr) liegen im Rahmen von Werten, wie sie bei Verabreichung einer proteindefizitären (26 % RP), aus kristallinen Aminosäuren zusammengesetzten Diät erwartet werden können.

Bei gleichem Isoleucin-Gehalt wie in der Kontrollgruppe (4,54 % vom RP) bewirkten Verringerungen des Leucin-Gehaltes auf 33 %, ca. 50 % und 66 % des Ausgangsgehalts an Leucin (9,4 % von RP) in den Gruppen (3) - (5) keine Verschlechterung der Versuchs-kriterien. In der Tendenz wurden sogar eher bessere Werte gemessen.

Ähnliche Feststellungen können auch getroffen werden, wenn bei gleichbleibendem Leucingehalt (9,4 % vom RP) die Isoleucin-Konzentration auf 50 %, 75 % bzw. 87 % des Ausgangswertes (4,54 % vom RP) gesenkt wird (Gruppen (7) - (9)). Im Schnitt wurden auch hier eher bessere Werte als in der Kontrollgruppe erhalten.

Daraus könnte geschlossen werden, daß in der Kontrollration sowohl die Leucin- wie auch die Isoleucin-Konzentration zu hoch angesetzt waren. Diese Schlußfolgerung wird bestätigt durch die Ergebnisse der Gruppe (10), in der die Leucin- und Isoleucin-Konzentration auf etwa 75 % des Kontrollgruppenwertes gesenkt worden war. Die spezifische Wachstumsrate der Gruppe (10) lag mit 0,8 14 % über der Kontrollgruppe, die Futterverwertung war ebenfalls um 145 % besser. N- und Energieansatz übertrafen die korrespondierenden Werte der Kontrollgruppe (Tab. II) um 148 bzw. 156 %.

Da aber grundsätzlich davon ausgegangen werden darf, daß für Leucin und Isoleucin das Verhältnis beider Aminosäuren zueinander von nur unwesentlich geringerer Bedeutung für eine optimale Aminosäuren-Versorgung als deren absolute Konzentration im Futterprotein ist, wurden in Versuch Ib verschiedene Leucin : Isoleucin-Relationen bei verschiedenen Gehaltsstufen dieser Aminosäuren überprüft.

Tab. 11: ERGEBNISÜBERSICHT VON VERSUCH Ia, 8 WOCHEN-DATEN

Lebendmasse (LM in g) bei Versuchsbeginn (VB) und Versuchsende (VE),
spezifische Wachstumsrate α , Futtermittelverzehr (FVZ in g/Fisch) und
Futtermittelverwertung (FVW als g Lebendmassezunahme/kg Futtermittelverzehr);

Produktiver Proteinwert (PPW: N-Ansatz : N-Aufnahme);

Energieverwertung (k_{tot} : Energie-Ansatz : Energie-Aufnahme)

2 Wiederholungen (Becken)/Gruppe; 15 Fische/Becken; 26 % RP im Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)	9,40	0,00	3,13	4,54	6,25	9,40	9,40	9,40	9,40	6,80
Ile (% v.RP)	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	0,00	2,27	3,40	3,97	3,40
Verluste (n)	0	2	0	0	1	3	1	1	0	0
LM (g) bei VB	$\bar{x}$ 32,8	33,0	33,0	32,8	32,7	33,0	33,0	32,8	32,8	33,1
	x_i 32,6	32,7	32,8	32,7	32,5	33,2	33,0	32,7	32,8	33,1
	x_j 33,0	33,2	33,3	32,9	32,9	32,8	33,0	32,9	32,7	33,1
LM (g) bei VE	$\bar{x}$ 44,5	34,3	46,9	42,5	46,9	34,6	49,2	43,4	47,8	51,9
	x_i 43,1	34,0	47,0	43,1	44,8	37,0	48,1	46,5	48,5	46,3
	x_j 46,0	36,6	46,8	41,9	49,0	32,3	50,3	40,4	47,1	57,5
LMZ (g)	$\bar{x}$ 11,7	1,3	13,8	9,7	14,2	1,7	16,2	10,6	15,0	18,8
	x_i 10,5	1,3	14,1	10,4	12,2	3,8	15,2	13,8	15,7	13,2
	x_j 13,0	1,3	13,5	9,0	16,1	-0,5	17,3	7,5	14,4	24,4
α	$\bar{x}$ 0,55	0,07	0,63	0,46	0,64	0,08	0,72	0,50	0,68	0,80
	x_i 0,50	0,07	0,64	0,50	0,57	0,20	0,68	0,63	0,70	0,60
	x_j 0,59	0,07	0,61	0,43	0,72	-0,03	0,76	0,37	0,65	0,99
FVZ (g)	$\bar{x}$ 32,4	19,5	33,0	31,4	33,1	23,0	32,7	31,1	33,0	35,4
	x_i 32,7	19,1	33,1	30,1	33,6	24,9	32,9	31,0	32,7	34,3
	x_j 32,1	19,9	32,9	32,8	32,6	21,1	32,5	30,4	33,2	36,5
FVW (g/kg)	$\bar{x}$ 362	67	419	310	429	-*	497	340	457	527
	x_i 321	68	427	346	346	154	462	433	481	384
	x_j 403	66	412	274	494	-*	532	247	432	669
PPW (%)	17,2	-*	19,0	15,5	18,8	2,3	22,8	13,5	20,5	22,8
k_{tot} (%)	14,2	-*	18,1	13,9	17,9	-*	17,5	15,7	13,8	20,4

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse
bzw. des Körperbestandes an N bzw. an Energie

3.3.2 Versuch Ib

Über die Versuchsergebnisse informieren Tabelle 12 sowie die Anhangstabellen III und IV.

Die Lebendmasse zu Versuchsbeginn lag im Mittel bei $38,3 \pm 0,7$ g. Unterschiede in der Lebendmasse bei Versuchsende waren gering (Mittelwert: $41,9 \pm 1,2$ g). Diese geringe Lebendmassezunahme (3,6 g) entsprach einer Wachstumsrate von 0,16. Bei einer derart geringen Zunahme in 8 Wochen waren erkennbare und leicht zuordenbare Unterschiede kaum zu erwarten.

Wahrscheinlich begünstigen die Daten ein Leucin : Isoleucin-Verhältnis von 2 : 1. Weitergehende Aussagen lassen sich nicht treffen, da auch die Wiederholungswerte relativ deutlich voneinander abweichen.

3.3.3 Versuch IIa

Eine Übersicht über die Versuchsergebnisse findet sich in Tabelle 13. Über zusätzliche Daten hinsichtlich Wachstumsverlauf und der Futterverwertung in den Wiegeabschnitten bzw. dem N- und Energie-Ansatz unterrichten die Anhangstabellen V bzw. VI.

Bei Versuchsbeginn wogen die Fische im Durchschnitt $32,9 \pm 0,1$ g. Die Gruppen ohne Histidin (2) bzw. Valin (6) wogen bei Versuchsende 38,2 bzw. 30,8 g. Der Mittelwert der anderen 8 Gruppen lag bei $45,3 \pm 3,5$ g.

Gruppe (6) ohne Valin hatte in 8 Versuchswochen 2,0 g/Fisch an Lebendmasse verloren, N-Bilanz und Energie-Ansatz wiesen ebenfalls negative Werte auf. Der Futterverzehr war auf 77 % des Kontrollgruppenwertes abgefallen (Tab. 13).

Tab. 12: ERGEBNISÜBERSICHT VON VERSUCH Ib, 8 WOCHEN-DATEN

Lebendmasse (LM in g) bei Versuchsbeginn (VB) und Versuchsende (VE), spezifische Wachstumsrate α , Futtermittelverzehr (FVZ in g/Fisch) und Futtermittelverwertung (FVW als g Lebendmassezunahme/kg Futtermittelverzehr);

Produktiver Proteinwert (PPW: N-Ansatz : N-Aufnahme);

Energieverwertung (k_{tot} : Energie-Ansatz : Energie-Aufnahme)

2 Wiederholungen (Becken)/Gruppe; 12 Fische/Becken; 26 % RP im Futter

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)		2,00	4,00	6,00	8,00	3,00	6,00	9,00	12,00	5,00	7,00
Ile (% v.RP)		1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,80
Verluste (n)		1	2	1	-	-	-	1	2	-	1
LM (g) bei VB	$\bar{x}$	38,4	38,9	37,7	39,3	37,7	38,4	39,3	37,6	37,6	37,7
	x_i	38,3	38,9	37,7	39,4	37,6	38,6	39,2	37,5	37,5	37,8
	x_j	38,5	38,8	37,7	39,2	37,8	38,2	39,3	37,6	37,7	37,6
LM (g) bei VE	$\bar{x}$	44,5	41,7	41,9	42,3	40,7	42,2	43,1	41,3	41,2	40,4
	x_i	46,3	46,1	42,4	42,6	40,4	43,5	44,6	40,5	39,9	39,2
	x_j	42,6	37,3	41,3	42,0	41,1	40,8	41,7	42,1	42,5	41,7
LMZ (g)	$\bar{x}$	6,1	2,9	4,1	3,0	3,0	3,8	3,9	3,7	3,6	2,7
	x_i	8,0	7,2	4,7	3,2	2,8	5,0	5,4	3,0	2,5	1,4
	x_j	4,1	-1,5	3,6	2,8	3,3	2,6	2,3	4,5	4,8	4,1
α	$\bar{x}$	0,26	0,12	0,19	0,13	0,14	0,16	0,17	0,17	0,16	0,12
	x_i	0,34	0,30	0,21	0,14	0,13	0,21	0,23	0,14	0,11	0,06
	x_j	0,18	-0,07	0,16	0,12	0,15	0,12	0,10	0,20	0,21	0,18
FVZ (g)	$\bar{x}$	28,5	28,2	27,4	27,2	26,5	26,7	27,3	27,2	22,8	26,2
	x_i	28,8	29,2	27,7	26,7	27,1	27,4	28,4	27,1	24,7	26,6
	x_j	28,1	27,2	27,1	27,7	25,9	26,0	26,2	27,3	20,9	25,8
FVW (g/kg)	$\bar{x}$	212	-*	151	110	114	140	139	137	165	105
	x_i	277	247	169	121	102	182	189	110	100	53
	x_j	148	-*	133	99	126	99	90	164	230	157
PPW (%)		11,5	6,7	8,4	10,8	2,2	8,4	7,2	6,4	6,1	2,2
k_{tot} (%)		10,0	1,6	1,2	3,3	-*	3,4	3,8	3,4	-*	3,6

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse bzw. des Körperbestandes an Energie

Gruppe (2) ohne Histidin hatte dagegen 5,0 g/Fisch zugenommen (45 % des Kontrollgruppenwertes), Positive N- und Energiebilanz (Tabelle VI: 69 bzw. 30 % im Vergleich zur Kontrollgruppe) belegen, daß hier eine echte Lebendmassezunahme vorliegt. Innerhalb der Gruppen mit gestaffelten Valin-Konzentrationen bei gleichem Histidin-Gehalt wurden die beste Wachstumsrate, Futterverwertung sowie N- und Energiebilanz in Gruppe (8) mit 4 % Valin vom RP gemessen. Fast gleiche Werte wurden auch in Gruppe (9) mit 5 % Valin beobachtet.

Verschiedene Histidinzusätze wurden bei 6 % Valin vom RP, einer nach dem oben beschriebenen Ergebnissen wahrscheinlich nicht optimalen Valin-Konzentration, studiert. Hier sind die Ergebnisse in sich widersprüchlich: mit 0,74 und 2,22 % Histidin wurden etwa gleich gute Ergebnisse erzielt. N- und Energieansatz (Tabelle VI) begünstigen sogar 0,74 gegenüber 2,22 % Histidin vom RP. Mehr Histidin (2,96 %) führte demgegenüber zu einer mehr oder weniger deutlichen Leistungsdepression. Dies trifft hinsichtlich der Wachstumsrate und der Rohfutterverwertung auch auf Gruppe (4) mit 1,48 % Histidin zu (α = 0,39 bzw. 0,35 für 1,48 bzw. 2,96 % Histidin gegenüber 0,52 bei 2,22 und 0,74 % Histidin; Futterverwertung; 247 bzw. 239 g LMZ/kg FVZ im Vergleich zu 369 bzw. 337 g/kg). N-Ansatz (144 mg bei 1,48 Histidin gegenüber 130 bzw. 160 mg bei 2,22 bzw. 0,74 %, aber nur 63 mg bei 2,96 % Histidin) sowie die Energiebilanz (75,1:78,1:91,0:39,8 kJ) lassen die Leistungsdaten dieser Gruppe (4) wieder besser erscheinen als Gruppe (5) mit 2,96 % Histidin).

Demnach könnte sich für Histidin-Konzentrationen von 0,74 bis 2,22 % vom RP eine etwa gleiche Leistungserwartung ergeben, während 2,96 % schon eine Depression bewirken dürften.

Tab. 13: ERGEBNISÜBERSICHT VON VERSUCH IIa, 8 WOCHEN-DATEN

Lebendmasse (LM in g) bei Versuchsbeginn (VB) und Versuchsende (VE),
spezifische Wachstumsrate α , Futtermittelverzehr (FVZ in g/Fisch) und
Futtermittelverwertung (FVW als g Lebendmassezunahme/kg Futtermittelverzehr);
Produktiver Proteinwert (PPW: N-Ansatz : N-Aufnahme);
Energieverwertung (k_{tot} : Energie-Ansatz : Energie-Aufnahme)

2 Wiederholungen (Becken)/Gruppe; 15 Fische/Becken; 26 % RP im Futter

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)		2,22	0,00	0,74	1,48	2,96	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Val (% v.RP)		6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00	2,00	4,00	5,00	7,00
Verluste (n)		0	0	1	0	1	2	0	1	2	0
LM (g) bei VB	$\bar{x}$	32,9	33,2	33,0	32,9	33,1	32,8	33,0	32,9	32,8	32,7
	x_i	32,5	33,1	33,0	32,9	33,2	32,9	32,8	33,3	32,9	32,7
	x_j	33,3	33,2	33,0	32,9	32,9	32,6	33,1	32,5	32,7	32,6
LM (g) bei VE	$\bar{x}$	44,1	38,2	44,2	40,9	40,3	30,8	46,2	49,7	49,1	47,6
	x_i	43,1	38,5	45,1	39,1	37,9	29,2	46,6	50,1	52,5	49,0
	x_j	45,1	37,8	43,3	42,8	42,6	32,4	45,7	49,2	45,6	46,1
LMZ (g)	$\bar{x}$	11,2	5,0	11,2	8,0	7,2	-2,0	13,2	16,8	16,2	14,9
	x_i	10,6	5,4	12,1	6,2	4,7	-5,7	13,8	16,8	19,6	16,4
	x_j	11,8	4,6	10,4	9,9	9,7	-0,2	12,6	16,7	12,8	15,5
α	$\bar{x}$	0,52	0,25	0,52	0,39	0,35	-0,11	0,60	0,74	0,71	0,67
	x_i	0,50	0,27	0,56	0,31	0,24	-0,21	0,63	0,73	0,84	0,73
	x_j	0,54	0,23	0,49	0,47	0,46	-0,01	0,58	0,74	0,59	0,62
FVZ (g)	$\bar{x}$	30,3	30,2	33,2	32,3	29,6	23,2	33,3	34,7	35,0	32,8
	x_i	29,1	30,9	34,3	31,2	28,0	23,1	34,9	36,4	35,2	33,0
	x_j	31,5	29,6	32,2	33,5	33,3	23,3	31,6	32,9	34,8	32,6
FVW (g/kg)	$\bar{x}$	369	164	337	247	239	-*	397	494	463	455
	x_i	363	174	352	198	167	-*	395	461	557	496
	x_j	375	154	322	296	311	-*	398	506	369	414
PPW (%)		10,8	7,3	12,1	11,0	5,3	-*	12,7	19,7	19,1	12,7
k_{tot} (%)		13,5	4,1	14,4	12,3	7,1	-*	16,0	16,5	14,9	16,0

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse
bzw. des Körperbestandes an N bzw. an Energie

3.3.4 Versuch IIb

Eine Ergebniszusammenfassung wird in Tabelle 14 gegeben. Zwischenergebnisse sowie Ansatzdaten sind in den Anhangstabellen VII und VIII aufgelistet.

Die Histidin-Konzentrationen, welche in Versuch IIa geprüft wurden, entsprechen mit 0,75 - 2,9 % vom RP dem aus Versuch IIa als wahrscheinlich optimal abgeleiteten Bereich.

Die Lebendmasse aller Gruppen betrug bei Versuchsbeginn im Mittel $37,0 \pm 0,8$ g. Bei Versuchsende wurden in Gruppe (1) ohne Histidin 37,5 g, im Mittel der restlichen 9 Versuchsgruppen $43,0 \pm 1,5$ g gemessen. Auch in diesem Wiederholungsversuch war somit die Wachstumsrate gering, auch die Futterverwertung relativ schlecht, so daß sich aus einem Einzelgruppenvergleich relevante Unterschiede kaum ablesen lassen.

In Versuch IIb hatte das Fehlen von Histidin in der Aminosäuren-Mischung wie in Versuch IIa nur eine deutliche Wachstumsdepression, eine schlechte Futterverwertung sowie recht geringe N- und Energieansatzwerte zur Folge. Ein Gewichts- oder Körpersubstanzverlust wurde aber wiederum nicht beobachtet.

Um die verschiedenen Histidin-Konzentrationen vergleichen zu können, wurden Mittelwerte der Gruppen gleicher Histidin-Gehalte im Futter unabhängig vom jeweiligen Valin-Gehalt gegenübergestellt. Interaktionen zwischen Histidin und Valin wurden nicht erwartet.

Bei diesem Vorgehen wurden bei 0,75 % Histidin vom RP mit $\alpha = 0,31$, FVW = 247 g LMZ/kg FVZ, 110 mg N-Ansatz und 49,6 kJ Energieansatz, die besten Werte ermittelt. Die korrespondierenden Daten für 1,25 % Histidin liegen bei 0,24; 192; 41 und 28,8; für 2,0 % Histidin bei 0,23, 190, 112 und 34,4. Damit wurden die Daten des vorausgegangenen Versuchs IIa in etwa bestätigt. 0,75 % Histidin scheinen demnach unter den beschriebenen Fütterungs- und Haltungsbedingungen zu genügen.

Tab. 14: ERGEBNISÜBERSICHT VON VERSUCH IIB, 8 WOCHEN-DATEN

Lebendmasse (LM in g) bei Versuchsbeginn (VB) und Versuchsende (VE),
spezifische Wachstumsrate α , Futtermittelverzehr (FVZ in g/Fisch) und
Futtermittelverwertung (FVW als g Lebendmassezunahme/kg Futtermittelverzehr);

Produktiver Proteinwert (PPW: N-Ansatz : N-Aufnahme);

Energieverwertung (k_{tot} : Energie-Ansatz : Energie-Aufnahme)

2 Wiederholungen (Becken)/Gruppe; 12 Fische/Becken; 26 % RP im Futter

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)		0,00	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	2,00	2,00	2,00
Val (% v.RP)		4,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00
Verluste (n)		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
LM (g) bei VB	$\bar{x}$	36,1	37,5	37,3	37,2	36,0	36,5	37,0	38,6	37,5	36,7
	x_i	36,0	37,3	37,1	37,2	36,0	36,4	37,0	38,3	37,4	36,7
	x_j	36,1	37,6	37,4	37,1	35,9	36,6	37,0	38,3	37,6	36,8
LM (g) bei VE	$\bar{x}$	37,5	43,6	44,1	45,2	40,6	42,7	41,8	43,5	43,8	41,3
	x_i	37,6	43,9	43,2	45,0	40,3	41,4	44,3	46,3	42,8	39,3
	x_j	37,4	43,4	44,9	45,4	40,8	44,0	39,2	40,6	44,7	43,3
LMZ (g)	$\bar{x}$	1,4	6,2	6,8	8,1	4,6	6,2	4,8	4,9	6,2	4,6
	x_i	1,6	6,6	6,1	7,8	4,3	4,9	7,3	7,6	5,4	2,6
	x_j	1,3	5,7	7,5	8,3	5,0	7,4	2,2	2,3	7,1	6,5
α	$\bar{x}$	0,07	0,27	0,30	0,35	0,22	0,28	0,21	0,21	0,27	0,21
	x_i	0,08	0,29	0,27	0,34	0,20	0,23	0,32	0,32	0,24	0,12
	x_j	0,06	0,25	0,33	0,36	0,23	0,33	0,10	0,10	0,31	0,29
FVZ (g)	$\bar{x}$	22,7	28,0	28,0	29,0	25,5	26,9	27,9	28,4	28,4	24,9
	x_i	23,3	28,0	27,9	29,4	25,1	26,2	29,1	29,1	27,2	23,6
	x_j	22,2	28,0	28,0	28,7	25,8	27,6	26,7	27,6	29,5	26,2
FVW (g/kg)	$\bar{x}$	64	220	244	278	182	228	167	171	219	180
	x_i	71	235	220	265	171	189	250	260	198	112
	x_j	56	205	267	290	193	267	83	83	241	248
PPW (%)		2,3	8,8	5,6	13,1	8,1	4,2	-*	4,6	11,1	15,7
k_{tot} (%)		1,0	7,1	9,5	10,9	6,1	6,6	4,3	3,3	10,2	6,1

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse
bzw. des Körperbestandes an N

Die Valin-Konzentrationen wurden nach demselben Verfahren wie für Histidin oben skizziert verglichen. Geringere Wachstumsrate (82 %), Futtermittelverwertung (83 %) und Energieansatz (61 %) weisen 2 % Valin als unzureichend im Vergleich mit 4 % Valin ($\alpha = 0,28$, FVW: 230 g/kg, E-Ansatz: 47,2 kJ) aus. Allein der N-Ansatz liegt mit 80 bzw. 79 mg (bei 2 bzw. 4 % Valin) auf gleichem Niveau. Eher wieder schlechter sind die korrespondierenden Daten der 6 % Valin-Gruppe ausgefallen ($\alpha = 0,26$, FVW: 208 g/kg, N-Ansatz = 104 mg, E-Ansatz 36,8 kJ). Auch diese Ergebnisse unterstreichen die Schlußfolgerungen aus Versuch IIa, daß im Bereich von etwa 4 % Valin optimale Ergebnisse erwartet werden dürfen und daß bei 6 % Valin wahrscheinlich wieder mit rückläufigen Leistungsdaten gerechnet werden muß.

3.3.5 Versuch III

In Tabelle 15 sind die Versuchsergebnisse übersichtsartig zusammengefaßt, über Zwischenergebnisse sowie die N- und Energiebilanz orientieren die Anhangstabellen IX und X. Bei Versuchsbeginn betrug die mittlere Lebendmasse der Gruppen (1) (4) 19,7 g/Fisch ($\pm 0,7$ g). Das mittlere Fischgewicht der Phenylalanin-Mangelgruppe (6) lag bei 26,4 g. Im Verlauf von 8 Versuchswochen verlor diese Gruppe 0,7 g an Stückgewicht. Nach 4 Versuchswochen war noch kein Gewichtsverlust zu beobachten (Tab. IX). Der N-Verlust betrug in dieser Gruppe nach 8 Wochen allerdings 64 mg/Fisch, der Energieverlust lag bei 14,8 kJ/Fisch. Wegen der großen Abweichung im Anfangsgewicht dieser Gruppe zur mittleren Lebendmasse aller Gruppen dürften die aus Gesamtkörperdaten gewonnenen Bilanzergebnisse weniger zuverlässig sein als in den vorangegangenen Versuchen. Dennoch erlauben die Versuchsdaten (Tabelle 15 und Tab. X) die pauschale Aussage, daß Phenylalanin für Forellen essentiell sein dürfte.

Tab. 15: ERGEBNISÜBERSICHT VON VERSUCH III, 8 WOCHEN-DATEN

Lebendmasse (LM in g) bei Versuchsbeginn (VB) und Versuchsende (VE),
spezifische Wachstumsrate α , Futtermittelverzehr (FVZ in g/Fisch) und
Futtermittelverwertung (FVW als g Lebendmassezunahme/kg Futtermittelverzehr);

Produktiver Proteinwert (PPW: N-Ansatz : N-Aufnahme);

Energieverwertung (k_{tot} : Energie-Ansatz : Energie-Aufnahme)

4 Wiederholungen (Becken)/Gruppe; 10 Fische/Becken;
26 % RP im Futter

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
Phe (% v.RP)		6,07	10,29	8,13	3,79	0,00
Tyr (% v.RP)		4,23	0,00	2,17	6,50	10,29
Verluste (n)		2	3	2	4	4
LM (g)	$\bar{x}$	18,8	20,1	20,4	19,4	26,4
bei VB	R	1,5	0,8	1,5	0,8	1,3
LM (g)	$\bar{x}$	20,4	23,9	23,7	19,3	25,7
bei VE	R	1,7	2,4	6,1	5,6	2,2
LMZ (g)	$\bar{x}$	1,6	3,7	3,2	1,2	0,8
	R	2,2	1,7	4,6	1,9	1,2
α	$\bar{x}$	0,14	0,30	0,26	0,11	-0,05
	R	0,21	0,12	0,33	0,17	0,08
FVZ (g)	$\bar{x}$	14,3	15,1	16,5	14,6	17,6
	R	1,3	1,9	5,3	0,6	2,4
FVW	$\bar{x}$	110	247	193	82	-*
(g/kg)	R	157	102	258	128	
PPW (%)		3,0	4,8	3,8	-*	-*
k_{tot} (%)		2,9	9,2	7,7	-*	-*

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse
bzw. des Körperbestandes an N bzw. an Energie

Tyrosin hat sich dagegen als nicht essentiell erwiesen. Gruppe (2) - nur Phenylalanin, kein Tyrosin in der Aminosäuren-Mischung - erreichte absolut gesehen die höchste Lebendmasse und die beste Futterverwertung.

In der Gruppe mit 8,1 % Phenylalanin und 2,2 % Tyrosin (jeweils vom RP) wurden nur geringfügig schlechtere Ergebnisse erreicht, was zumindest partiell auf die schlechten Werte einer Wiederholung zurückgeführt werden kann. Eine weitere Verringerung des Phenylalanin-Anteils bei gleicher Summe der beiden Aminosäuren (10,3 % vom RP) führte zu deutlichen Einbußen in der Wachstumsrate, im N- und Energieansatz sowie in der Futterverwertung. 6,1 % Phenylalanin plus 4,2 % Tyrosin zeigen schon einen deutlichen Abstand in allen Versuchsparametern zu Gruppe (3) mit 8,1 % Phenylalanin und 2,2 % Tyrosin. Bei 3,8 % Phenylalanin plus 6,5 % Tyrosin wiesen N- und Energie-Ansatz bereits negative Werte auf (Tab. X).

4 DISKUSSION

In den Tabellen und im Text wird zur Beschreibung der Aminosäurenversorgung der Ausdruck "Rohprotein" verwendet. Dies entspricht allenfalls der Definition nach der Weender Futtermittelanalyse, bei welcher der Rohproteingehalt nach Stickstoffbestimmung aus der Beziehung $N \times 6,25 = \text{Rohprotein}$ errechnet wird. Da die Rationen aber kein komplexes Protein (mit Peptidbindung) enthielten und Aminosäuren - streng genommen als NPN-Quelle - die Proteinversorgung übernahmen, dürfte korrekterweise nur von Rohproteinäquivalenten gesprochen werden. Aus Gründen der Sprachvereinfachung und der Beziehung zum analytischen Nachweis wird jedoch weiterhin der Ausdruck Rohprotein beibehalten.

Die Versuche haben allgemein gezeigt, daß für 8 Wochen-Versuche an Forellen zur Bestimmung der Essentialität und des Bedarfs an Aminosäuren die Ermittlung der Lebendmasse und mit ihr korrelierter Parameter nicht ausreicht. Allein die Ergänzung dieser Krite-

rien durch N- und Energie-Bilanz erlaubt ein zutreffendes Urteil. Offensichtlich können Forellen im beobachteten Gewichtsbereich (ca. 20-43 g) durch Verschiebung der Relation der Körperbestandteile Protein, Fett und Wasser, zumindest Gewichtskonstanz - in einigen Fällen sogar leichte Zunahmen - vortäuschen, obgleich schon ein echter Verlust an Körperprotein und -energie vorliegt.

Dies erklärt manche widersprüchliche Ergebnisse in gleichartigen Untersuchungen von STRAUSS (1982), FRANK (1984), LANGBEIN (1987) und STIEGLMAIER (1987). Hier sind wiederholt "Zunahmen" nach 4 Wochen Versuchsdauer und vereinzelt auch nach 8 Wochen aufgetreten, obwohl dem Futter eine als essentiell anerkannte Aminosäure fehlte. Der Wassergehalt des Fischkörpers wird offensichtlich schneller und in größeren Grenzen verändert, als dies bei warmblütigen Tieren möglich ist. Es ist bekannt, daß nach langen Hungerperioden der Wassergehalt des Fischkörpers bis auf 90 % ansteigen kann. Körperwasser ist somit in der Lage, echte Substanzverluste mittelfristig zu maskieren.

4.1 Zur Schätzung des Aminosäuren-Bedarfs

Seit den Untersuchungen von HALVER et al. (1957) wird die grundsätzliche Eignung von Aminosäuren-Diäten zur Bedarfsschätzung bei Salmoniden als gegeben angesehen. Grundsätzliche Nachteile sind in den Untersuchungen von REITER (1984) und STRAUSS (1982) beschrieben.

Hierzu zählen die mangelnde Akzeptanz von Aminosäuren-Diäten ebenso wie die relativ geringen Wachstumsraten, die mit diesen Rationstypen erhalten wurden, welche auch aus versuchstechnischen Gründen einen suboptimalen RP-Gehalt (hier 26 %, Bedarf mindestens 37 %) aufweisen.

Unabhängig von dem verwendeten Versuchs-kriterium sollten daher bei Salmoniden aus Versuchen mit reiner Aminosäuren-Mischung erhaltene Eckwerte nur als Aminosäuren-Bedarfsschätzungen charakterisiert werden. Die Serie der methodisch vergleichbaren Untersuchungen von STRAUSS (1982), FRANK (1984), LANGBEIN (1987) und STIEGLMAIER (1987) läßt darauf schließen, daß einzelne, nicht optimierte Gehaltswerte essentieller Aminosäuren die Bedarfsschätzung anderer Aminosäuren, die aus den Variationen dieser Aminosäuren im Gesamt-Aminosäuren-Angebot abgeleitet wurden, beeinflussen und wahrscheinlich durch vielfältige Interaktionen bestimmen. Dies wird durch fallweise sehr deutliche Unterschiede zwischen den angegebenen Werten und anderen Literaturdaten unterstrichen.

Andererseits weist die Verwendung von Aminosäurenmischungen auch Vorteile gegenüber Futtermischungen mit komplexen Proteinen auf. Das Verhältnis der einzelnen Aminosäuren ist tatsächlich frei zu variieren, die Verfügbarkeit der synthetischen Aminosäuren dürfte gleich angesetzt werden können. Das letztere Argument hat beispielsweise das NRC (1986) bewogen, zur Aminosäuren- (und RP)-Bedarfsfestlegung bei Katzen nur Versuchsergebnisse heranzuziehen, die mit reinen Aminosäuren-Diäten gewonnen wurden.

4.1.1 Leucin - Isoleucin

Leucin und Isoleucin gelten bei allen bisher untersuchten Fischen als essentielle Aminosäuren (COWEY, 1979). Die Leucin-Bedarfsangaben für die Regenbogenforelle liegen zwischen 3,9 und 4,4 % vom RP (MERTZ, 1972; OGINO, 1980). Die entsprechenden Daten für Isoleucin betragen 2,4 % vom RP.

Die Essentialität von Leucin konnte in Versuch Ib bestätigt werden, nach 8 Versuchswochen waren N- und Energie-Bilanz negativ. Für Isoleucin sind die Versuchsergebnisse weniger eindeutig, die

N-Bilanz war nach 8 Versuchswochen noch immer etwa ausgeglichen, während eigentlich eine Abnahme an Körperprotein hatte erwartet werden müssen.

Das Fehlen jeweils beider Aminosäuren im Futter bewirkte eine scharfe Verzehrsdepression. Diese ist normalerweise mit einem Aminosäuren-Mangel verbunden, bei Forellen ist sie aber nur bei absolutem Lysin-Mangel beschrieben (STRAUSS, 1982). Andererseits ist eine Verzehrsdepression charakteristisch für Aminosäuren-Imbalancen. Das Vorliegen der ausgeprägten Reduktion des Futtermittels dürfte im vorliegenden Fall folglich eher Zeichen einer Interaktion zwischen diesen beiden Aminosäuren sein, wie sie auch bei homöothermen Haus- und Nutztieren bekannt ist.

Bei Schätzung der Bedarfswerte für Leucin und Isoleucin muß folglich neben der Konzentration beider Aminosäuren das Verhältnis dieser Aminosäuren zueinander in den jeweils besten Gruppen berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse beider Versuche (Ia und Ib) erlauben eine Schätzung des optimalen Leucin/Isoleucin-Verhältnisses mit ca. 2 : 1. Dies liegt in der Größenordnung der von MERTZ (1972) und OGINO (1980) genannten Absolutwerte. Starke Abweichungen von den Literaturwerten treten allerdings bei den absoluten Bedarfswerten auf. In Versuch Ia wurden die besten Werte der Versuchsparameter bei 6,8 % Leucin und 3,4 % Isoleucin vom RP beobachtet. Die korrespondierenden Daten des weniger aussagefähigen Versuchs Ib liegen bei 2 bzw. 1 % vom RP. Beide Angaben über- bzw. unterschreiten die Literaturangaben um ca. 50 %.

4.1.2 Valin

Das Fehlen von Valin hatte nach 8 Versuchswochen deutliche Verluste an Lebendmasse sowie am Körperbestand von Protein und Energie zur Folge (Versuch IIa). Diese Befunde bestätigen Valin in Übereinstimmung mit den Angaben von MERTZ (1972) und OGINO (1980) als essentielle Aminosäure. Beste und annähernd gleiche Daten für Wachstumsrate, N- und Energieansatz wurden in Versuch IIa bei 4 und 5 % Valin im RP gemessen (bei jeweils 2,22 % Histidin). Tabelle 16 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse von Versuch IIb, wobei die Mittelwerte jeder Valin-Gruppe aus 3 Rationsgruppen gleichen Valin-Gehaltes, aber unterschiedlicher Histidin-Konzentrationen (0,75, 1,25 und 2,0 % vom RP) resultieren.

Tab. 16: Valin: Übersichtsergebnisse von Versuch IIb

Valin (% vom RP) Wiederholungen	2,00 6	4,00 6	8,00 6
Spezifische Wachstumsrate	0,23	0,28	0,26
g LMZ/kg FVZ	181	230	208
N-Ansatz (mg/Fisch)	80	79	104
Energie-Ansatz (kJ/Fisch)	28,8	47,2	36,8

Mit Ausnahme des N-Ansatzes weisen alle Parameter 2 % Valin vom RP als ungenügend aus. Wieder mit Ausnahme der N-Bilanz sind auch die Werte der 6 % Valin-Gruppe etwas schlechter ausgefallen als in der 4 % Valin-Gruppe.

Insofern erlauben beide Versuche die Aussage, daß der Valin-Bedarf auf etwa 4 % bzw. etwas höher geschätzt werden darf und daß mit 6 % Valin das Optimum wahrscheinlich schon überschritten sein dürfte.

Die Bedarfs-Angaben von MERTZ (1972) und OGINO (1980) liegen mit 3,2 bzw. 3,1 % deutlich niedriger als die eigenen Schätzungen. Allenfalls die Bedarfswerte für Aal und Karpfen (s. COWEY, 1978) nähern sich mit 3,6 % den eigenen Schätzungen von 4 % besser an.

4.1.3 Histidin

Obwohl Histidin für Forelle (MERTZ 1979, OGINO 1980), Lachs, Aal, Karpfen und Catfish (COWEY, 1979) unter den essentiellen Aminosäuren aufgeführt wird, bestätigen die eigenen Daten dies nicht. In 2 Versuchen ohne Histidin in der Aminosäuren-Mischung waren deutliche Wachstumsraten sowie eine positive N- und Energie-Bilanz beobachtet worden. Allerdings bewirkten Histidin-Zulagen eine Verbesserung der genannten Parameter. Insofern darf Histidin als semiessentiell für Forellen (zumindest ab ca. 33 g Stückgewicht) bezeichnet werden. Dies entspricht in etwa der Einstufung von Histidin bei den meisten Säugetieren.

Aus Versuch IIa hatte sich eine Eingrenzung des Bedarfsbereichs von 0 bis 2,98 % Histidin im RP ergeben. Die Daten von Versuch IIb wurden wie unter 4.1.2 für Valin beschrieben, in Tabelle 17 zusammengefaßt.

Tab. 17: Histidin: Übersichtsergebnisse von Versuch IIb

Histidin (% vom RP)	0,75	1,25	2,00
Wiederholungen	6	6	6
Spezifische Wachstumsrate	0,31	0,24	0,23
g LMZ/kg FVZ	247	192	190
N-Ansatz (mg/Fisch)	110	41	112
Energieansatz (kJ/Fisch)	49,6	28,8	34,4

Der "Bedarf" scheint mit 0,75 % Histidin gedeckt zu sein. Wie bei Valin (Tabelle 16) ergibt sich auch hier die Feststellung, daß die N-Bilanz höhere Werte begünstigt, als das aus Wachstum und Futterverwertung sowie Energiebilanz hervorgeht. Dies ist ein auch aus Versuchen an homöothermen Säugetieren bekannter Befund.

Von MERTZ (1972) und OGINO (1980) wird der Histidin-Bedarf von Furrellen mit 1,7 bzw. 1,6 % vom RP angegeben. Die eigene Bedarfs-schätzung liegt damit etwa in der Hälfte der bisher angenommenen Größenordnung.

4.1.4 Phenylalanin - Tyrosin

Phenylalanin gilt allgemein als essentielle Aminosäure. Tyrosin nicht. Der Begriff Sparaminosäure für Tyrosin kennzeichnet die Wechselbeziehung zwischen beiden Aminosäuren: Phenylalanin kann Tyrosin ersetzen; Tyrosin dagegen nur den Bedarf an Phenylalanin bis zu einer gewissen Grenze senken. Bedarfswerte sollten daher zweckmäßigerweise für die Summe beider Aminosäuren angegeben werden.

STIEGLMAIER (1987) kommt hinsichtlich der Essentialität von Phenylalanin zu widersprüchlichen Ergebnissen: sicherer Nachweis der Essentialität bei kleinen Setzlingen (4,1 g LM), nicht dagegen bei größeren Setzlingen (25,1 g LM). Allerdings hatte die Autorin nur Gewichtszunahme und davon abhängige Parameter als Kriterien herangezogen. Auch hier hätte ein Körpersubstanzverlust durch höhere Wassereinlagerungen maskiert werden können.

Die eigenen Untersuchungen lassen im fraglichen Lebendmassebereich (26,4 g LM bei Versuchsbeginn) nach 8 Wochen einen geringfügigen Körpermasseverlust erkennen, der aber von einer deutlich negativen N- (und Energie-) Bilanz begleitet ist. Insofern dürfte an der Essentialität von Phenylalanin auch in diesem Gewichtsbereich kein Zweifel bestehen.

Weit schwieriger sind dagegen die eigenen Ergebnisse hinsichtlich einer Bedarfsschätzung einzuordnen, da nur eine Gesamtkonzentration an Phenylalanin plus Tyrosin (10,3 % vom RP) geprüft werden konnte. Hier wurden die besten Ergebnisse bei 10,3 % Phenylalanin erhalten (ohne Tyrosin), allerdings waren die korrespondierenden Daten bei 8,1 % Phenylalanin plus 2,2 % Tyrosin kaum schlechter ausgefallen. Wurde das Phenylalanin/Tyrosin-Verhältnis von 3,75 : 1 weiter reduziert (auf 1,43 bzw. 0,58 : 1), nahmen Wachstumsrate, Futterverwertung und N- sowie Energie-Bilanz erkennbar ab. Bei 3,8 % Phenylalanin plus 6,5 % Tyrosin im RP (0,58 Phe : 1 Tyr) war die N-Bilanz sogar schon negativ.

Damit scheinen bei 10,3 % Phenylalanin und Tyrosin etwa 20 % der Gesamtkonzentration durch Tyrosin ersetzbar zu sein. Ähnlich liegen die Angaben von MERTZ (1972): aus einem Phenylalanin-Bedarf von 5,1 % vom RP bei Phenylalanin plus Tyrosin mit 6 - 7 % ergibt sich eine Phenylalanin-Einsparungsrate durch Tyrosin von maximal 27 %. Eine wesentlich höhere Einsparrate läßt sich mit ca. 38 % aus den Angaben von OGINO (1980) errechnen.

STIEGLMAIER (1987) schreibt in ihren Untersuchungen, daß der absolute Bedarf an Phenylalanin vom Gesamtangebot an Phenylalanin plus Tyrosin dergestalt abhängig zu sein scheint, daß bei höherer Gesamtkonzentration niedrigere Phenylalaningehaltswerte genügen. Aus den erheblichen Widersprüchen zwischen den Bedarfsschätzungen von STIEGLMAIER (1987), MERTZ (1972) und OGINO (1980) mit mehr als 10,3 %, 6 - 7 % bzw. 5,6 % Summenkonzentration im RP lassen sich weitere Untersuchungen als notwendig ableiten. Wegen des Ausfalls geplanter Versuchsgruppen vermögen die eigenen Daten zu dieser Bedarfsabklärung keinen Beitrag zu leisten.

Tyrosin ist auch nach eigenen Untersuchungen (Versuch III) ganz offensichtlich nicht essentiell.

4.2 Validität der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Unter 4.1 wurden bereits Einschränkungen beschrieben, welchen die Schlußfolgerungen mit Rationen suboptimalen RP-Gehalts und mit reinen Aminosäuren als RP-Quelle unterliegen. Weitere Bedeutung kommt aber auch den in vergleichbaren Untersuchungen verwendeten Kriterien zu. So ist beispielsweise aus Untersuchungen an Geflügel bekannt, daß der "Bedarf" an einer Aminosäure in der Reihenfolge der Kriterien Futterverzehr, Lebendmassezunahme und Futterverwertung ansteigt. In den vorliegenden Untersuchungen kann auf den Futterverzehr als Bedarfskriterium nicht zurückgegriffen werden, da nicht ad libitum gefüttert werden konnte. Auf die limitierte Verwendbarkeit der Lebendmassezunahme als isolierten Versuchsparameter wurde bereits hingewiesen.

Bilanzdaten wie auch freie Aminosäuren in Plasma oder Muskelwasser führen zu abweichenden Schlußfolgerungen hinsichtlich der "Bedarfwerte", wie Vergleiche zwischen den Daten von OGINO (1980), KAUSHIK (1979) und STRAUSS (1982) unschwer belegen. Die Wassertemperatur beeinflußt den Protein (BECK, 1987) und Energiebedarf (SCHWALB-BÜHLING, 1982). Es ist wenig bekannt, ob diese Einflußgröße auch den Aminosäuren-Bedarf verändert. Da sich aber die Relationen zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf temperaturabhängig verschieben, erscheint zumindest eine Spekulation erlaubt. Schließlich beeinflußt auch die Salinität den Arginin-Bedarf von Forellen, wie KAUSHIK (1979) zeigen konnte.

Insofern sind Bedarfsschätzungen von Aminosäuren bei Forellen (Fischen) noch weit mehr als allgemein üblich nur für die jeweiligen Versuchsbedingungen gültig. Allgemeingültige präzise Angaben sind aus den bisher bekannten Versuchsergebnissen (noch) nicht abzuleiten. Daher dürften auch die vorgelegten Ergebnisse nur einen mosaiksteinartigen Beitrag zu einer groben Annäherung von Bedarfswerten an den tatsächlichen Bedarf darstellen. Wegen der bereits erwähnten Abhängigkeit einzelner Aminosäuren-"Bedarfwerte" von den Konzentrationen offensichtlich noch nicht optimierter Aminosäuren-Konzentrationen im Futter scheinen die ermittelten Werte in optimierten Aminosäuren-Rationen der Überprüfung zu bedürfen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Abschätzung des Aminosäurenbedarfs der Regenbogenforelle an Leucin, Isoleucin, Histidin, Valin, Phenylalanin und Tyrosin wurden 5 Versuche mit insgesamt 1800 Forellen durchgeführt.

Die Versuche dauerten 8 Wochen zuzüglich 2 Wochen Vorperiode. Gefüttert wurden Rationen, die als Proteinquelle gemischte kristalline L-Aminosäuren (Ausnahme: DL-Methionin) enthielten. Der Rohproteingehalt der Rationen war auf 26 % eingestellt. Höhere oder niedrigere Konzentrationen der zu untersuchenden Aminosäuren wurden durch Glutaminsäure N-äquivalent ausgeglichen.

Als Versuchskriterien dienten Gewichtsentwicklung, Futterverzehr, Futterverwertung sowie Stickstoff- und Energie-Bilanz. Für Forellensetzlinge im Stückgewichtsbereich zwischen 20 und 43 g wurden Leucin, Isoleucin, Valin und Phenylalanin als essentiell bestätigt. Histidin ist offensichtlich nur semiessentiell. Tyrosin dient als Sparaminosäure für Phenylalanin.

Für Leucin : Isoleucin erwies sich ein Verhältnis von 2 : 1 als optimal. Eine Bedarfsschätzung liegt mit 6,8 % Leucin und 3,4 % Isoleucin im Rationsprotein ca. 50 % über bekannten Angaben, und mit ca. 4 % Valin im Bereich bisheriger Empfehlungen. Ein Histidin-Zusatz verbesserte die Leistung, 0,75 % im RP scheinen zu genügen. Bei 10,3 % Phenylalanin plus Tyrosin im RP können ca. 20 % Phenylalanin durch Tyrosin eingespart werden.

Forellensetzlinge sind offensichtlich in der Lage, geringere Verluste an Körperprotein und -energie durch eine erhöhte Wassereinlagerung so zu maskieren, daß innerhalb von 8 Wochen kein Verlust an gewogener Lebendmasse auftritt. Im Vergleich zu den anderen Versuchskriterien begünstigt die N-Bilanz höhere Bedarfsschätzungen.

SUMMARY

Studies on the requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) for the essential amino acids leucine and isoleucine, valine, histidine, phenylalanine plus tyrosine.

In five experiments, the requirement of the rainbow trout for leucine, isoleucine, histidine, valine, phenylalanine and tyrosine was studied on a total of 1,800 trout fingerlings. A mixture of crystalline l-amino acids (with the exception of dl-methionine) served as the exclusive source of dietary protein. A gradual exchange of each of the amino acids tested by glutamic acid guaranteed N-equivalency of all diets (26 % dietary protein, $N \times 6.25$). The experimental criteria were growth, feed intake, feed conversion as well as nitrogen and energy retention in 8 weeks after a 2 week preperiod.

The essentiality of leucine, isoleucine, valine and phenylalanine for trout fingerlings (body weight 20 - 43 g) was confirmed. The optimum ratio of leucine : isoleucine was 2 : 1. Best results were obtained with 6.8 % leucine and 3.4 % isoleucine in the dietary protein; values exceeding the so far published data by about 50 %. In contrast to that an estimated requirement of 4 % valine in the dietary protein is within the range of various recommendations. Histidine seems only semi-essential. However, an addition of histidine improved growth and N-balance. 0.75 % seems to be sufficient. In diets containing a total of 10.3 % phenylalanine plus tyrosine of dietary protein, about 20 % phenylalanine could be saved by tyrosine. But tyrosine could be entirely replaced by phenylalanine.

Trout fingerlings seem to be able to mask a small loss of body protein and body energy by an increasing water deposition for about 4 - 8 weeks, so that a loss of total body mass could not be measured by weighing. In comparison to the other experimental criteria, nitrogen retention favours higher amino acid requirement data.

LITERATURVERZEICHNIS

ABDERHALDEN, E. (1912)

Fütterungsversuche mit vollständig abgebauten Nahrungsstoffen, Lösung des Problems der künstlichen Darstellung der Nahrungsstoffe.

Hoppe-Seylers Z. phys. Chem. 77, 22

ABDERHALDEN, E. (1922)

Weitere Beiträge zur Kenntnis von organischen Nahrungsstoffen mit spezifischer Wirkung. XV. Ernährungsversuche mit künstlich dargestellten organischen Nahrungsstoffen und ferner mit aus zusammengesetzten organischen Nahrungsstoffen gewonnenen Bausteinen mit und ohne Zusatz von Nutraminen.

Pflügers Arch. Ges. Physiol. Misch. und Tiere 195, 199

ALBRECHT, M.L. und WONSCHKE, J. (1972)

Der Gehalt an Aminosäuren im Protein niedriger Wassertiere und dessen Bedeutung für die Fischernährung.

Arch. Tierernährung, 22, 923

AOE, H., MASUDA, I., SAITO, T., TOYODA, T. and KITAMURA, S. (1970)

Nutrition of protein in young carp. I. Nutritive value of free amino acids.

Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 36, 407

ARAI, S., NOSE, T. and HASHIMOTO, T. (1972)

Amino Acids Essential for the Growth of Eels, *Anguilla* and *A. Japonica*.

Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 38 (7), 753

BORMAN, A., WOOD, T.R., BLACK, H.C. ANDERSON, E.G., OSERLING, M.J., WOMACK, M. and ROSE, W.C. (1946)

The role of arginine in growth with some observations on the effects of arginic acid.

J. Biol. Chem. 166, 585

BECK, F. (1987)

Untersuchungen zum Protein- und Energieerhaltungsbedarf der Regenbogenforelle (*Salmo Gairdneri* Richardson): Schätzung der Hungerverluste.

Diss. med. vet., München

COWEY, C.B. (1979)

Protein and amino acid requirements of finfish. S. 3 ff in: *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology I.* (J.E. Halver, K. Tiews eds.) Heenemann Verlag, Berlin.

FRANK, BARBARA (1984)

Untersuchungen über den Arginin- und Tryptophanbedarf der Regenbogenforelle (*Salmo Gairdneri* Richardson) mit Hilfe gereinigter Diäten.

Diss. med. vet., München

GROPP, J. (1985)

Spezielle Fragen der Ernährung von Süßwasserfischen.
Vortragstagung Lohmann, Cuxhaven 13.11.1985

HALVER, J.E., DE LONG, D.C. and MERTZ, E.T. (1957)

Nutrition of salmonoid fishes, classification of essential amino acids for chinook salmon.

J. Nutr. 63, 95

HOPKINS, F.G. (1916)

(zitiert nach Rose, W.C. 1938)
J. Chem. Soc. 109, 629

KAUSHIK, J. (1979)

Application for a biochemical method for the estimation of amino acid needs in fish: quantitative arginine requirements of rainbow trout in different salinities, S. 197 ff in: *Finfish Nutr. and Fishfeed Technology I.* (J.E. Halver, K. Tiews eds.) Heenemann Verlag, Berlin

LANGBEIN, SABINE (1987)

Studien zum Bedarf der Regenbogenforellen (*Salmo Gairdneri* Richardson) an den Aminosäuren Lysin, Arginin, Tryptophan, Methionin und Cystein.

Diss. med. vet., München

MERTZ, E.T. (1972)

The protein and amino acid needs. S. 105 in Fish Nutrition,
(J.E. Halver ed.)

Academic Press, New York - London

OGINO, C. (1980)

Requirements of carp and rainbow trout for essential amino
acids.

Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46 (2), 171

OSBORNE, TH.B. and MENDEL, C.B. (1914)

Amino-acids in nutrition and growth.

J. Biol. Chem. 17, 325

REITER, M. (1984)

Rasteruntersuchungen über die Verbesserung gereinigter Diäten
für Forellen.

Diss. med. vet., München

ROSE, W.C. (1931)

Feeding experiments with mixtures of highly purified amino-
acids. I. The inadequacy of diets containing nineteen amino
acids.

J. Biol. Chem. 94, 155

SCHWALB-BÖHLING, A. (1982)

Stoffwechselphysiologische Untersuchungen an Regenbogenforel-
len (*Salmo Gairdneri* Richardson) unter besonderer Berück-
sichtigung der Ausnutzung von Futterenergie.

Diss. Fachbereich Biologie der Universität Hamburg

STIEGLMAIER, ERIKA (1987)

Über den Bedarf der Forellen (*Salmo Gairdneri* Richardson) an
Threonin, Phenylalanin und Tyrosin unter Verwendung gereinig-
ter Diäten.

Diss. med. vet., München

STRAUSS, J. (1982)

Studien zum Lysinbedarf von Regenbogenforellen (*Salmo Gaird-
neri* Richardson) mit Hilfe gereinigter Diäten.

Diss. med. vet., München

TIEWS, K., KOOPS, G., GROPP, J. und TIEWS, J. (1973)

Über die Körperzusammensetzung netzkäfig gehaltener Forellen
(*Salmo Gairdneri* Richardson) in Abhängigkeit von Fütterung
und Wachstum.

Arch. Fisch. Wiss. 24, 261

-- Nutrient Requirements of Cats National Research Council
(U.S.) Revised Edition (1986)

National Academic Press, Washington D.C.

7 TABELLARISCHER ANHANG

Tab. I: VERSUCH Ia

Spezifische Wachstumsrate (α) und Futterverwertung (FVW, g Lebendmassezunahme/kg Futterverzehr)

1. - 4. Woche, 5. - 8. Woche und 1. - 8. Woche
12 Fische/Becken, 2 Wiederholungen/Gruppe

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)		9,40	--	3,13	4,54	6,25	9,40	9,40	9,40	9,40	6,80
Ile (% v.RP)		4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	--	2,27	3,40	3,97	3,40
α 1 - 4	$\bar{x}$	0,80	0,20	0,84	0,86	0,92	0,49	1,01	0,74	1,00	1,15
	x_i	0,68	0,18	0,87	0,93	0,89	0,56	1,02	0,84	1,01	1,08
	x_j	0,92	0,21	0,81	0,79	0,96	0,42	1,00	0,63	0,99	1,21
α 5 - 8	$\bar{x}$	0,26	0,06	0,42	0,07	0,36	-0,32	0,43	0,26	0,35	0,44
	x_i	0,25	0,04	0,42	0,07	0,25	0,16	0,34	0,42	0,40	0,12
	x_j	0,26	0,07	0,41	0,07	0,47	-0,48	0,51	0,10	0,31	0,77
α 1 - 8	$\bar{x}$	0,55	0,07	0,63	0,46	0,64	0,08	0,72	0,50	0,68	0,80
	x_i	0,50	0,07	0,64	0,50	0,57	0,20	0,68	0,63	0,70	0,60
	x_j	0,59	0,07	0,61	0,43	0,72	-0,03	0,76	0,37	0,65	0,99
FVW 1 - 4	$\bar{x}$	474	137	501	496	542	328	617	448	594	680
	x_i	393	131	501	536	514	367	612	502	607	642
	x_j	555	143	501	455	569	288	623	394	581	718
FVW 5 - 8	$\bar{x}$	209	*	346	61	291	*	364	215	296	356
	x_i	195	*	340	66	195	*	296	351	336	94
	x_j	223	*	352	56	388	*	433	79	257	618
FVW 1 - 8	$\bar{x}$	362	67	419	310	429	*	497	340	457	527
	x_i	321	68	427	326	346	154	462	433	481	384
	x_j	403	66	412	274	494	*	532	247	432	669

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse an N bzw. an Energie

Tab. II: **PROTEIN (N)- UND ENERGIE(E)ANSATZ, VERSUCH Ia**
Berechnungsgrundlagen für Ansatz: Tab. IIa

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)	9,40	--	3,13	4,54	6,25	9,40	9,40	9,40	9,40	6,80
Ile (% v.RP)	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	--	2,27	3,40	3,97	3,40
Fisch-T (%)	26,52	23,13	26,88	26,98	26,51	24,04	25,79	27,10	25,68	26,30
RP (% d. T)	52,52	58,47	51,12	53,24	51,42	59,24	53,08	50,41	53,57	51,02
Energie (kJ/g T)	25,9	25,0	25,9	25,9	26,2	25,1	25,6	26,1	24,5	25,9
Ansatz/Fisch										
mg N	221	-42	247	197	245	4	293	169	272	327
kJ	87,6	-17,5	110,7	82,5	111,9	-7,0	109,0	92,5	86,2	137,1

Werte bei Versuchsbeginn: 24,96 % Fisch-T; 59,63 % RP d. T.; 26,2 kJ/g Fisch-T

Tab. IIa: Analysendaten Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)	9,40	--	3,13	4,54	6,25	9,40	9,40	9,40	9,40	6,80
Ile (% v.RP)	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	--	2,27	3,40	3,97	3,40
Futter-T (%)	93,21	93,16	93,01	93,02	93,27	93,18	93,31	93,21	93,26	92,95
RP (%)										
errechnet	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
analysiert	24,84	25,00	24,65	25,24	24,62	24,90	24,59	25,07	25,17	25,37
kJ/g Futter	19,0	18,8	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	19,0	18,9	18,9

Tab. III: VERSUCH Ib

Spezifische Wachstumsrate (α) und Futterverwertung (FVW, g Lebendmassezunahme/kg Futterverzehr)

1. - 4. Woche, 5. - 8. Woche und Gesamtperiode

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)		2,00	4,00	6,00	8,00	3,00	6,00	9,00	12,00	5,00	7,00
Ile (% v.RP)		1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,80
α_{1-4}	$\bar{x}$	0,31	0,09	0,11	0,07	0,13	0,20	0,19	0,31	0,06	0,12
	x_i	0,34	0,23	0,08	0,02	0,14	0,28	0,27	0,30	-0,01	0,12
	x_j	0,29	-0,06	0,14	0,13	0,12	0,12	0,10	0,31	0,13	0,12
α_{5-8}	$\bar{x}$	0,21	0,15	0,26	0,19	0,12	-0,13	0,15	0,04	0,27	0,13
	x_i	0,34	0,37	0,34	0,26	0,16	0,15	0,19	-0,02	0,24	0,01
	x_j	0,08	-0,08	0,19	0,11	0,07	0,11	0,11	0,10	0,30	0,25
α_{1-8}	$\bar{x}$	0,26	0,12	0,19	0,13	0,14	0,16	0,17	0,17	0,16	0,12
	x_i	0,34	0,30	0,21	0,14	0,13	0,21	0,23	0,14	0,11	0,06
	x_j	0,18	-0,07	0,16	0,12	0,15	0,12	0,10	0,20	0,21	0,18
FVW 1 - 4	$\bar{x}$	215	*	75	51	110	137	128	211	*	84
	x_i	230	162	54	13	121	192	184	214	*	84
	x_j	199	*	97	89	99	83	72	209	91	83
FVW 5 - 8	$\bar{x}$	208	*	255	200	81	144	157	*	286	138
	x_i	339	353	330	286	112	165	196	*	256	7
	x_j	78	*	180	113	50	123	118	100	316	296
FVW 1 - 8	$\bar{x}$	212	*	151	110	114	140	139	137	165	105
	x_i	277	247	169	121	102	182	189	110	100	53
	x_j	148	*	133	99	126	99	90	164	230	157

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse an N bzw. an Energie

Tab. IV: PROTEIN (N)- UND ENERGIE(E)ANSATZ, VERSUCH Ib
Berechnungsgrundlagen für Ansatz: Tab. IVa

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)	2,00	4,00	6,00	8,00	3,00	6,00	9,00	12,00	5,00	7,00
Ile (% v.RP)	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,80
Fisch-T (%)	25,39	24,46	24,16	24,80	23,26	24,51	24,79	24,12	24,04	24,96
RP (% d. T)	53,98	56,64	56,91	58,34	56,11	56,40	54,91	56,14	55,51	52,58
Energie (kJ/g T)	25,7	24,3	23,5	24,7	24,0	24,5	24,5	25,0	22,4	24,8
Ansatz/Fisch										
mg N	135	78	96	119	45	92	78	71	56	23
kJ	54,1	8,5	5,9	17,3	-4,8	17,1	19,9	17,6	-9,5	18,1

Werte bei Versuchsbeginn: 23,67 % Fisch-T; 57,83 % RP d. T; 26,0 kJ/g Fisch-T

Tab. IV a: Analysendaten Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Leu (% v.RP)	2,00	4,00	6,00	8,00	3,00	6,00	9,00	12,00	5,00	7,00
Ile (% v.RP)	1,00	2,00	3,00	4,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,00	2,80
Futter-T (%)	95,07	94,82	94,83	94,68	94,73	95,24	94,99	94,97	94,90	94,85
RP (%)										
errechnet	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
analysiert	25,70	25,71	25,94	25,26	25,95	25,69	24,87	25,31	25,13	25,01
kJ/g Futter	18,9	19,0	18,5	19,1	18,5	19,0	19,3	19,3	18,9	19,1

Tab. V: **VERSUCH IIa**

Spezifische Wachstumsrate (α) und Futterverwertung (FVW, g Lebendmassezunahme/kg Futterverzehr)

1. - 4. Woche, 5. - 8. Woche und Gesamtperiode

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	2,22	--	0,74	1,48	2,96	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Val (% v.RP)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	--	2,00	4,00	5,00	7,00
α_{1-4}	$\bar{x}$	0,78	0,73	0,79	0,81	0,62	0,12	0,86	1,06	1,01
	x_i	0,64	0,77	0,84	0,74	0,66	0,04	1,00	1,12	1,02
	x_j	0,92	0,68	0,74	0,88	0,57	0,19	0,72	1,01	0,99
α_{5-8}	$\bar{x}$	0,27	-0,23	0,26	-0,03	0,09	-0,34	0,34	0,41	0,36
	x_i	0,37	-0,23	0,27	-0,12	-0,19	-0,46	0,26	0,35	0,53
	x_j	0,17	-0,22	0,24	0,06	0,36	-0,22	0,43	0,48	0,19
α_{1-8}	$\bar{x}$	0,52	0,25	0,52	0,39	0,35	-0,11	0,60	0,74	0,71
	x_i	0,50	0,27	0,56	0,31	0,24	-0,21	0,63	0,73	0,84
	x_j	0,54	0,23	0,49	0,47	0,46	-0,01	0,58	0,74	0,59
FVW 1 - 4	$\bar{x}$	482	413	456	475	369	73	501	620	578
	x_i	403	434	479	444	411	24	572	636	609
	x_j	562	393	433	506	326	122	430	605	547
FVW 5 - 8	$\bar{x}$	231	--*	199	--*	(56)	--*	278	332	283
	x_i	312	--*	206	--*	--*	--*	197	267	413
	x_j	149	--*	192	47	292	--*	359	397	152
FVW 1 - 8	$\bar{x}$	369	164	337	247	239	--*	397	484	463
	x_i	363	174	352	198	167	--*	395	461	557
	x_j	375	154	322	296	311	--*	398	506	369

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse an N bzw. an Energie

Tab. VI: PROTEIN (N)- UND ENERGIE(E)ANSATZ, VERSUCH IIA
Berechnungsgrundlagen für Ansatz: Tab. VIA

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	2,22	--	0,74	1,48	2,96	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Val (% v.RP)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	--	2,00	4,00	5,00	7,00
Fisch-T (%)	26,28	25,12	26,29	27,40	25,13	23,70	26,35	25,67	25,58	25,50
RP (% d. T)	49,19	57,28	50,82	51,64	52,47	58,43	49,01	51,89	52,27	48,80
Energie (kJ/g T)	25,3	25,1	26,4	25,9	25,3	24,4	26,0	25,4	25,0	25,8
Ansatz/Fisch										
mg N	130	90	160	144	63	-0,1	170	277	271	170
kJ	78,1	23,7	91,0	75,1	39,8	-36,4	100,7	108,9	99,0	99,3

Werte bei Versuchsbeginn: 24,96 % Fisch-T; 59,53 % RP d. T.; 26,2 kJ/g Fisch-T

Tab. VIA: Analysendaten Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	2,22	--	0,74	1,48	2,96	2,22	2,22	2,22	2,22	2,22
Val (% v.RP)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	--	2,00	4,00	5,00	7,00
Futter-T (%)	93,29	93,36	93,24	93,27	93,23	93,16	93,20	93,14	93,00	92,88
RP (%)										
errechnet	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
analysiert	24,86	25,39	24,94	25,33	25,05	25,53	25,15	25,39	25,35	25,51
kJ/g Futter	19,1	19,1	19,0	18,9	19,0	18,8	18,9	19,0	19,0	18,9

Tab. VII: VERSUCH IIb

Spezifische Wachstumsrate (α) und Futterverwertung (FVW, g Lebendmassezunahme/kg Futterverzehr)

1. - 4. Woche, 5. - 8. Woche und Gesamtperiode

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	--	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	2,00	2,00	2,00
Val (% v.RP)	4,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00
α 1 - 4	$\bar{x}$	0,19	0,32	0,32	0,45	0,14	0,23	0,24	0,25	0,32
	x_i	0,22	0,34	0,28	0,40	0,23	0,15	0,35	0,31	0,23
	x_j	0,16	0,30	0,35	0,49	0,05	0,31	0,13	0,20	0,41
α 5 - 8	$\bar{x}$	-0,05	0,23	0,29	0,26	0,14	0,33	0,19	0,17	0,23
	x_i	-0,06	0,24	0,26	0,28	0,17	0,31	0,29	0,33	0,25
	x_j	-0,03	0,21	0,31	0,24	0,10	0,35	0,08	0,01	0,21
α 1 - 8	$\bar{x}$	0,07	0,27	0,30	0,35	0,22	0,28	0,21	0,21	0,27
	x_i	0,08	0,29	0,27	0,34	0,20	0,23	0,32	0,32	0,24
	x_j	0,06	0,25	0,33	0,36	0,23	0,33	0,10	0,10	0,31
FVW 1 - 4	$\bar{x}$	126	226	224	312	98	157	162	177	221
	x_i	146	239	200	272	160	100	240	215	161
	x_j	107	213	248	351	36	214	84	138	282
FVW 5 - 8	$\bar{x}$	--*	213	268	238	145	322	172	164	219
	x_i	--*	229	246	257	186	309	262	318	247
	x_j	--*	196	291	218	103	334	82	9	192
FVW 1 - 8	$\bar{x}$	64	220	244	278	182	228	167	171	219
	x_i	71	235	220	265	171	189	250	260	198
	x_j	56	205	267	290	193	267	83	83	241

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse an N bzw. an Energie

Tab. VIII: PROTEIN (N)- UND ENERGIE(E)ANSATZ, VERSUCH IIB
Berechnungsgrundlagen für Ansatz Tab. VIIIA

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	--	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	2,00	2,00	2,00
Val (% v.RP)	4,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00
Fisch-T (%)	24,05	24,84	24,96	25,27	24,76	25,71	25,23	24,17	25,68	25,73
RP (% d. T)	56,34	53,35	50,13	53,41	54,23	48,10	47,69	53,37	52,71	56,33
Energie (kJ/g T)	25,1	24,9	25,5	25,2	25,0	23,6	23,7	24,3	25,5	24,0
Ansatz/Fisch										
mg N	22	103	66	161	84	45	-6	52	127	158
kJ	4,2	38,9	51,1	58,9	29,7	34,5	22,2	17,9	56,0	29,2

Werte bei Versuchsbeginn: 23,67 % Fisch-T; 57,83 % RP d.T.; 26,0 kJ/g Fisch-T

Tab. VIIIA: Analysendaten Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
His (% v.RP)	--	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	1,25	2,00	2,00	2,00
Val (% v.RP)	4,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00	2,00	4,00	6,00
Futter-T (%)	95,23	95,35	94,91	94,96	94,81	95,32	94,97	95,09	95,09	94,92
RP (%)										
errechnet	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
analysiert	25,93	26,18	26,11	26,42	25,53	25,15	25,44	25,11	25,34	25,25
kJ/g Futter	19,3	19,5	19,3	18,6	19,2	19,4	18,7	19,3	19,2	19,2

Tab. IX: Spezifische Wachstumsrate (α) und Futterverwertung (FVW)
Versuch III

1. - 4. Woche, 5. - 8. Woche und Gesamtperiode

R: Spannweite

Ration		(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
Phe (% v.RP)		6,07	10,29	8,13	3,79	--
Tyr (% v.RP)		4,23	--	2,17	6,50	10,29
α	1 - 4	0,10	0,31	0,28	0,11	0,02
R		0,24	0,21	0,41	0,27	0,19
α	5 - 8	0,19	0,38	0,31	0,11	-0,12
R		0,30	0,40	0,44	0,15	-0,16
α	1 - 8	0,14	0,30	0,26	0,11	-0,05
R		0,21	0,12	0,33	0,17	0,08
FVW	1 - 4	66	209	181	--*	--*
R		162	138	197	--*	--*
FVW	5 - 8	175	419	234	99	--*
R		279	459	335	621	--*
FVW	1 - 8	110	247	193	82	--*
R		157	102	258	128	--*

* Nicht berechnet wegen Abnahme der Lebendmasse
an N bzw. an Energie

Tab. X

PROTEIN (N)- UND ENERGIE(E)ANSATZ, VERSUCH III

Berechnungsgrundlagen für Ansatz: Tab. Xa

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
Phe % v. RP	6,07	10,29	8,13	3,79	--
Tyr % v. RP	4,23	--	2,17	6,50	10,29
Fisch-T (%)	23,68	24,88	24,45	23,99	23,85
RP % d. T.	54,74	49,36	50,84	51,46	52,49
Energie (kJ/g T)	25,6	25,3	25,9	23,8	24,1
Ansatz/Fisch					
mg N	11	29	25	-28	-64
kJ	8,0	26,7	24,5	- 4,6	-14,8

Werte bei Versuchsbeginn: 23,67 % Fisch-T; 57,83 %
RP d. T.; 26,0 kJ/g Fisch-T

Tab. Xa: Analysendaten Futter

Ration	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)
Phe % v. RP	6,07	10,29	8,13	3,79	--
Tyr % v. RP	4,23	--	2,17	6,50	10,29
Futter-T (%)	94,47	94,34	94,32	94,57	94,70
RP (%)					
errechnet	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
analysiert	25,10	25,07	24,95	25,33	25,69
kJ/g Futter	19,5	19,3	19,3	19,2	19,1

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Jürgen Gropp meinen ganz besonderen Dank aussprechen für die Themastellung und -formulierung und für seine allzeit gewährte Hilfe bei der Durchführung dieser Arbeit.

Frau Elisabeth Stadler und Herrn Dr. Kurt-Henning Sternik möchte ich auch ganz herzlich danken für ihre freundliche Hilfe und Beratung bei Laborarbeiten und technischen Problemen.

Nicht zuletzt gilt mein Dank dem Tierpflegepersonal des Oberwiesenfeldes, voran Frl. Gabriele Reder und Herrn Walter Bunge, für ihre Hilfe bei der Versorgung der Versuchstiere.

LEBENS LAUF

Name	Stefan Ernst Zimmer
geb. 25.6.52	in Schiffweiler als Sohn des Doktors der Medizin Hans Joachim Fritz Zimmer und seiner Frau Edith, geb. Nauhauser.
1959-63	Volksschule Schiffweiler
1963-72	Staatliches Realgymnasium Neunkirchen
16.5.72	Abitur
1973-79	Studium der Medizin in Straßburg und Frankfurt
WS 79/80	Inmatrikulation an der Ludwig-Maximilians-Universität im Fachbereich Tiermedizin
7.2.85	Staatsexamen
10.4.85	Approbation
seit 1.9.86	prakt. Tierarzt in Neunkirchen/Wiebelskirchen

